ELEMENTI DI FISICA

E SUE

PRINCIPALI APPLICAZIONI

DEL

LEONARDO DOVERI

Dottore in Scienze Fisiche e Naturali
Prof. di Fisica e Chimica
nel R. Liceo Militare Arciduca Ferdinando

COMPILATI PRINCIPALMENTE AGLI ALUNNI DEI LICEI
DELLE SCUOLE TECNICHE E DEI COLLEGI

VOL. II.

FIRENZE
TIPOGRAFIA GALILEIANA
di [illegible] e C.

1856

ELEMENTI
DI FISICA

E SUE

PRINCIPALI APPLICAZIONI

DI

LEONARDO DOVERI

Dottore in Scienze Fisiche e Naturali
Prof. di Fisica e Chimica
nel R. Liceo Militare Arciduca Ferdinando

DESTINATI PARTICOLARMENTE AGLI ALUNNI DEI LICEI
DELLE SCUOLE TECNICHE E DEI COLLEGJ

VOL. II.

FIRENZE
TIPOGRAFIA GALILEIANA
di M. Cellini e C.

1855

ELEMENTI DI FISICA

E

SUE PRINCIPALI APPLICAZIONI

---

3. Dell' Elettricità.

I fenomeni dovuti a questo mirabile agente di natura si manifestano sotto caratteri assai diversi, a seconda del modo con cui il medesimo si produce e si diffonde nei corpi. Talvolta l'elettricità si accumula alla loro superficie, e vi si conserva in equilibrio ad uno stato di *tensione* che si rende sensibile per mezzo di attrazioni e di scintille; tal'altra penetra nell' interno della loro massa e li traversa in forma di *corrente* con immensa velocità. Nel primo caso si ha l'*elettricità statica*, ossia in equilibrio; nel secondo l'*elettricità dinamica* od in movimento. Esistono poi in natura dei corpi i quali, ai fenomeni d'attrazione e di repulsione che presentano, mostrano evidentemente di esser percorsi da correnti elettriche. Son questi i corpi così detti *magnetici*, e l' insieme dei loro fenomeni prende nella scienza il nome di *magnetismo*. Infine altri corpi naturalmente non magnetici, divengono tali tosto che sono percorsi da una corrente elettrica, e cessano di esserlo appena la medesima interrompe il suo passaggio. Questi sono i corpi distinti col nome di *elettromagnetici*, ed i loro fenomeni costituiscono l'*elettromagnetismo*.

1.° *Elettricità Statica.*

Il nome di *Elettricità* viene dalla parola greca ρσετηκλν, che significa ambra, imperocchè il primo fatto relativo ai fenomeni elettrici fu quello di cui parlano gli antichi filosofi greci, consistente nella proprietà che acquista l'ambra gialla strofinata, di attrarre i corpi leggieri, come minuzzoli di carta o di paglia. Ma a questo fenomeno si limitarono le cognizioni degli antichi sull'elettricismo. Fino al termine del secolo sedicesimo, non si erano fatte altre scoperte relative ai fenomeni di questo agente; ma in quell'epoca Gilbert, medico della regina d'Inghilterra Elisabetta, aprì la via delle ricerche su tal soggetto; facendo conoscere che, oltre l'ambra gialla, moltissime altre sostanze godono della facoltà di elettrizzarsi collo strofinamento, vale a dire di attrarre i corpi leggieri. Dopo le osservazioni di Gilbert, le scoperte si succederono rapide e numerose, e fra i molti nomi a cui la scienza dell'elettricità va debitrice dei mirabili fatti che la costituiscono, primeggiano quelli di Ottone di Guericke, Epino, Franklin, Beccaria, Volta, Davy, Oersted, Ampère, Schweigger, Arago, Nobili, De la Rive, Faraday, Becquerel, Matteucci. Noi ci accingiamo adesso a studiare con ordine i fenomeni dell'elettricità statica.

Svolgimento dell'elettricità colla confricazione. Un numero considerevole di corpi, come l'ambra, le resine, lo zolfo, il vetro, strofinati con un pezzo di lana o di seta, ovvero con una pelle di gatto, acquistano la proprietà di attrarre dei corpi leggieri; quali possono essere delle foglie d'oro battuto, della segatura di sughero, o di midolla di sambuco, dei frammenti di carta ec. Onde mostrare con più evidenza queste attrazioni s'impiega il così detto *pendolino elettrico*, consistente in una piccola palla di midolla di sambuco sospesa ad un filo di cotone o di seta, che attaccasi ad un sostegno (*Tav.* I, *Fig.* 1). Allorquando si avvicina al medesimo un corpo elettrizzato collo strofinamento, come un bastone di ceralacca, un tubo di vetro od altro, vedesi il pendolino correre verso di esso e rimanervi anche per breve tempo aderente.

Ma non tutti i corpi godono della proprietà di elettrizzarsi colla confricazione. Un cilindro metallico, un pezzo di legno, un cannello di carbone non si elettrizzano in tal guisa. Perciò gli antichi fisici distinsero i corpi, in *idioelettrici* ed *anelettrici*, chiamando col primo nome quelli capaci di elettrizzarsi collo strofinamento, e col secondo gl' incapaci.

Conducibilità dei corpi per l'elettrico. L'accennata distinzione fu bentosto riconosciuta mal fondata, imperciocchè fu facile l'accorgersi che i corpi così detti anelettrici non eransi collocati nelle circostanze convenienti per mostrare l'elettricità che anch'essi sviluppano per confricazione. Queste circostanze dipendono da un'altra proprietà dei corpi rispetto all'elettrico, vale a dire quella di trasmettere l'elettricità o d'impedirne il passaggio. A cagione di esempio, se noi strofiniamo colla nostra mano o tuffiamo nell'acqua un bastone di ceralacca o un cilindro di vetro già elettrizzati collo strofinamento, essi cessano immediatamente di attrarre i corpi leggieri; lo stesso accade se li tocchiamo con un metallo o li poniamo in contatto del suolo. Se invece li tocchiamo o li posiamo sopra una stoffa di seta o di lana, sopra un piano di resina od un piatto di vetro, essi conservano la loro elettricità. Perciò la mano, l'acqua, i metalli, il suolo, sono atti a dar passaggio, a trasmettere l'elettrico, e perciò diconsi *conduttori;* mentre la lana, la seta, le resine, il vetro non la trasmettono, e perciò diconsi *cattivi conduttori*, *isolatori* od anche *coibenti.* La scoperta della distinzione dei corpi in conduttori ed in coibenti, fu fatta da Gray, fisico inglese, nel 1727.

Ora sarà facile intendere perchè i corpi conduttori strofinati nel modo ordinario non si elettrizzano: l'elettricità che in essi svolgesi colla confricazione si trasmette alla mano che li tiene, e quindi al corpo ed al suolo, e perciò non ne rimane in essi veruna traccia. Potrà non di meno mostrarsi che anche in essi avviene lo svolgimento dell'elettricità collo strofinamento, se invece di tenerli direttamente colla mano, li terremo mediante un pezzo di lana o di seta, o con un manico di vetro. Un conduttore metallico sostenuto da un piede di sostanza coibente dicesi *isolato:* se in tale condizione si confrica con una pelle di gatto, o si percuote con

una coda di volpe, non stenta ad elettrizzarsi. I corpi coibenti, come il vetro, lo zolfo e le resine, manifestano i fenomeni elettrici dopo lo strofinamento, appunto perchè non trasmettono l'elettricità, e la conservano nei punti ove si svolse. Ed infatti se prendonsi dei lunghi bastoni di ceralacca o dei lunghi tubi di vetro, e si confricano soltanto ad un'estremità, sarà facile accorgersi che l'elettricità resta solo in quel punto e non si diffonde sul resto della superficie.

Adunque egli è evidente che i corpi idioelettrici sono i coibenti, e gli aneleltrici i conduttori; perciò la primitiva distinzione era erronea e solo dipendente dalla conducibilità. Tutti i corpi posti in convenienti circostanze possono elettrizzarsi collo strofinamento. Fra i corpi coibenti merita fin da questo momento particolare attenzione l'aria in mezzo a cui operiamo. Se la medesima desse passaggio alla elettricità, i corpi ne rimarrebbero sprovvisti non appena in essi si svolgesse, e i fenomeni dell'elettricità statica ci sarebbero ignoti. Invece tra i corpi conduttori, quello su cui più facilmente si disperde l'elettrico, è il *suolo*, ed anzi è sempre in esso che va a diffondersi l'elettricità che passa attraverso i corpi buoni conduttori. Così avviene se noi tocchiamo colla mano un corpo elettrizzato, o se lo posiamo sopra una tavola od altro sostegno buon conduttore: l'elettricità, mediante il nostro corpo o la tavola o il sostegno passa nel terreno e si disperde in un istante in quell' immenso conduttore che è il globo intiero della terra. Perciò il suolo, relativamente all'elettricità, ha ricevuto il nome di *serbatojo comune*.

Azione reciproca dei corpi elettrizzati. Per istudiare l'azione che si manifesta fra i corpi elettrizzati, si fa uso di varj pendolini che debbono essere sospesi a dei fili di seta, affinchè la leggiera palla di sambuco si trovi isolata. È facile accorgersi che un corpo elettrizzato dopo avere attratto uno di questi pendolini, immediatamente lo respinge. Parimente se si elettrizzano col vetro strofinato due di questi pendolini e quindi si accostano l'uno all'altro, essi respingonsi. Lo stesso accaderebbe se ambedue si elettrizzassero colla ceralacca confricata. L'esperimento può anche ripetersi con un doppio pendolino a fili conduttori, vale a dire di cotone o di lino, isolato

dal sostegno con un po' di ceralacca. Non appena si elettrizza, i due pendolini divergono. Un fascio di pendolini simili ai precedenti, elettrizzato con un mezzo qualunque, si apre per la repulsione dei pendolini fra loro. Apparisce adunque evidente che *i corpi egualmente elettrizzati si respingono*. Nei corsi di fisica si suol dimostrare questo principio con esperienze variatissime, fra le quali giova ricordare quelle conosciute coi nomi l'una di *danza elettrica*, l'altra di *scampanio elettrico*. La prima si eseguisce per mezzo di due piatti metallici disposti ad una certa distanza l'uno sull'altro; il primo si fa comunicare mediante una catenella metallica con una macchina da cui svolgesi in copia l'elettricità; l'altro invece collo stesso intermezzo col suolo, e sul medesimo son posti molti leggieri corpiciattoli, come palline di sambuco, barbe di penna, frammenti di carta ec. Non appena il primo piatto si elettrizza, i corpicciòli del secondo sono attratti; ma tosto che pel contatto si sono elettrizzati vengono respinti, e ricadono sul piatto inferiore, ove, a motivo della stabilita comunicazione col suolo, perdono l'acquistata elettricità. Allora di nuovo sono attratti per quindi esser respinti; e così ripetendosi successivamente tali attrazioni e repulsioni, accade fra i due piatti una specie di danza che può farsi durare a piacimento. Lo *scampanio elettrico* si ottiene sospendendo una pallina metallica ad un filo isolatore di seta, tra due campanine pure metalliche, l'una in comunicazione col suolo, l'altra colla macchina elettrica (*Tav.* I, *Fig.* 2). Le palline *a* e *c* sono attratte dalle campanine *d* ed *e* elettrizzate, le toccano e poi sono respinte sulla campanina *b* che comunica col suolo, alla quale cedono perciò la loro elettricità.

Sopra il principio che i corpi egualmente elettrizzati si respingono, sono fondati la maggior parte di quegli apparecchi destinati a scoprire la presenza dell'elettricità, e che diconsi *elettroscopi*. Il più semplice elettroscopio consiste in un doppio pendolino sospeso entro una bottiglia di vetro, affinchè i movimenti dell'aria non lo agitino e non si disperda troppo presto l'elettricità comunicatagli. In luogo del doppio pendolino si adoperano con più vantaggio due sottili pagliuzze o due foglie d'oro poste quasi a contatto entro un vaso di vetro chiuso

ed attaccate con una loro estremità ad una verga metallica che termina esternamente in un bottone pure metallico (*Tav.* I, *Fig.* 3). Allorquando si pone a contatto di questo bottone il corpo elettrizzato, le due foglie divergono, e dal grado di loro divergenza si giudica dell'intensità della carica elettrica; ed a quest'uopo talvolta disponesi dietro alle medesime un arco graduato. L'elettroscopio a foglie d'oro è il più sensibile attesa l'estrema leggerezza delle sue foglie. Onde accrescerne la sensibilità e ristabilire le foglie nella loro posizione naturale dopo la divergenza, si applicano sulle pareti opposte della boccia due laminette metalliche o due fili metallici, i quali pongonsi in comunicazione col suolo. In questo modo allorchè le foglie elettrizzate hanno perduta l'elettricità toccando le lamine metalliche, tornano alla primitiva posizione. Si costruisce anche un elettroscopio con un sol pendolino *a n* (*Tav.* I, *Fig.* 4), mobile intorno al punto a cui è sospeso. Nella sua posizione verticale trovasi a contatto di un'asta conduttrice *a m*, insieme a cui si elettrizza. Tosto che ciò avviene, il pendolino è respinto dall'asta, e fa con essa un angolo più o meno grande secondo l' intensità della forza che lo respinge, del quale angolo si ha la misura applicando all'asta fissa un semicircolo graduato, al cui centro trovasi il punto di sospensione del pendolino. Questo istrumento appellasi *Elettrometro a quadrante di Henly.*

Se invece di comunicare a due pendolini l'elettricità proveniente da uno stesso corpo, vetro o resina che sia, si comunica ad uno di essi l'elettricità del vetro e all'altro quella della resina, si osserva che accostandoli, invece di respingersi, si corrono incontro e si attraggono. Dufay, fisico francese, il quale scuoprì questo fatto nel 1733, chiamò elettricità *vitrea* quella svolta dalla confricazione del vetro, ed elettricità *resinosa* quella svolta dalle resine. Dunque *due corpi elettrizzati, l'uno di elettricità vitrea e l'altro di elettricità resinosa, si attirano.*

Allorquando si produce dell'elettricità colla confricazione di due corpi fra loro, si osserva che ciascuno di essi ha preso uno stato elettrico diverso dall'altro. Così confricando il vetro con della lana, il vetro prende l'elettricità vitrea, la lana

l'elettricità resinosa. Infatti se con questi due corpi si elettrizzano due pendolini, si vede che accostandoli si attirano; ed inoltre il pendolino elettrizzato colla lana ne respinge un altro elettrizzato colla resina. Viceversa confricando colla lana un bastone di ceralacca, la prima acquista l'elettricità vitrea, il secondo la resinosa.

Due corpi elettrizzati, l'uno di elettricità vitrea e l'altro di elettricità resinosa, posti a contatto riprendono lo stato naturale. L'esperienza può farsi con due pendolini, ovvero con due corpi i quali confricati insieme si elettrizzano: lasciati qualche tempo insieme perdono l'acquistata elettricità. Adunque *le due differenti elettricità si neutralizzano nel contatto.*

Ipotesi intorno alla natura dell'elettricità. I fisici onde spiegare i fenomeni descritti hanno immaginato due differenti teorie. In una, che è quella di Franklin, si ammette un sol fluido; nell'altra, che è dovuta a Symmer, se ne ammettono due. Nella prima le parti del fluido imponderabile costituenti l'elettrico si respingerebbero tra loro, mentre sarebbero attratte dalla materia ponderabile. Ogni corpo conterrebbe una certa quantità di questo fluido, dipendente dalla sua massa e dalla sua natura, la quale sarebbe in equilibrio colla elettricità degli altri corpi, e lo costituirebbe allo stato naturale. Le diverse cause svolgenti elettricità agirebbero aumentando la quantità del fluido in un corpo e diminuendola nell'altro; e questi due stati di eccesso e di difetto del fluido elettrico nei corpi, costituirebbero le due elettricità sviluppate colla confricazione del vetro e delle resine. In questa teoria dicesi elettrizzato *in più*, *in eccesso*, *o positivamente* un corpo che ha uno stato elettrico eguale a quello del vetro strofinato colla lana, e dicesi elettrizzato *in meno*, *per difetto*, *o negativamente* un corpo elettrizzato come la resina strofinata colla lana. L'attrazione che si manifesta fra due corpi elettrizzati differentemente dipenderebbe in questa teoria dalla tendenza dei medesimi a riacquistare il loro naturale stato di equilibrio. Nell'ipotesi di Symmer si ammette invece che tutti i corpi allo stato naturale contengano i due fluidi combinati in eguali quantità; e che i due fluidi si attirino reciprocamente, mentre le parti di ciascuno di essi respingonsi. Le cause producenti

i fenomeni elettrici distribuirebbero disugualmente i due fluidi sopra i due corpi che confricati si elettrizzano, ed uno di questi prenderebbe un eccesso di un fluido e l'altro un eccesso dell'altro. Il fluido che si trova in eccesso nel vetro confricato colla lana vien detto fluido *vitreo*, quello della ceralacca e delle resine fluido *resinoso.*

Di queste due teorie, la prima, attesa la sua maggiore semplicità, ci sembra la più razionale. Del resto, ambedue spiegano la maggior parte dei fenomeni elettrici.

Leggi delle attrazioni e repulsioni elettriche. Queste leggi furono stabilite da Coulomb per mezzo della sua bilancia di torsione di cui abbiamo già fatto parola (Vol. I, pagina 125). In questo apparecchio si misura l'intensità di una forza facendola agire all'estremità dell'ago sospeso al filo di torsione, e determinando l'angolo che questo forma allontanandosi dalla sua posizione di equilibrio. Si oppone adunque alla forza che si vuol misurare, la forza di torsione del filo, la quale è proporzionale all'angolo di torsione. Allorquando si applica la bilancia di torsione alla misura delle azioni elettriche, essa deve essere modificata nel modo seguente (Vol. I, *Tav.* III, *Fig.* 86). L'ago orizzontale dev'essere di gomma lacca, cioè a dire di materia perfettamente coibente, e deve portare ad una delle sue estremità una piccola palla di midolla di sambuco, o un dischetto di sottilissima lamina metallica. Il filo sottilissimo d'ottone che occupa l'asse dello apparecchio e a cui è sospeso l'ago, è fisso colla sua estremità superiore *a* nell'asse di un tamburo metallico girevole orizzontalmente entro un altro tamburo fisso, il cui margine è graduato. L'asse del tamburo mobile porta una lancetta, destinata a indicare il movimento di rotazione del tamburo stesso, e in conseguenza la torsione che si dà al filo mediante questo movimento. Questa parte dell'apparecchio dicesi *micrometro.* La parete superiore della campana di vetro in cui si muove l'ago di gomma lacca ha un foro *m*, per mezzo del quale s'introduce nella bilancia una palla metallica fissata ad un manico isolante, la quale dev'esser portata a contatto del dischetto o della pallina dell'ago orizzontale. La parete laterale e circolare della campana è fornita di un cerchio graduato, situato sul piano stesso in cui sono

compresi l'asse dell'ago di gomma lacca, il centro del suo disco, ed il centro della palla metallica. Prima di procedere agli esperimenti fa d'uopo rendere perfettamente asciutta l'aria della campana, mediante sostanze essiccanti. Ciò avvenuto, s'introduce la palla metallica isolata nell'interno della campana, dopo averla in qualche modo elettrizzata, e si porta a contatto del dischetto dell'ago mobile. Subito dopo il contatto i due corpi respingonsi essendosi egualmente elettrizzati, e l'ago orizzontale dopo qualche oscillazione si ferma in un punto distante da quello della prima posizione, e fra di essi sarà compreso un arco che potrà determinarsi per mezzo del cerchio graduato della parete. In questo punto la torsione del filo fa equilibrio alla forza repulsiva, e serve a misurarla. La prima ci è data dal numero dei gradi dell'arco di allontanamento.

Ora, per determinare la relazione che passa fra le forze repulsive di cui si tratta, e le distanze a cui si esercitano, basterà variare le posizioni di equilibrio dell'ago orizzontale e del dischetto elettrizzato che sopporta. A tal fine si fa girare il tamburo superiore del micrometro di un certo numero di gradi, in modo da ravvicinare il dischetto alla palla metallica elettrizzata. Una volta ristabilito l'equilibrio si nota il nuovo angolo di deviazione dell'ago. In questo caso la repulsione essendo accresciuta, è pure accresciuta la torsione che le fa equilibrio. Quando si è girato il tamburo del micrometro, si è torto il filo nel verso contrario della repulsione, ond'è evidente che questa forza fa equilibrio all'angolo di deviazione dell'ago orizzontale di gomma lacca, più il numero di gradi fatti fare al tamburo del micrometro. Variando in tal guisa le distanze fra la palla e il dischetto elettrizzati, si trova che alle distanze 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ le repulsioni sono espresse da 1, 4, 16. Adunque *le repulsioni elettriche variano in ragione inversa dei quadrati delle distanze.*

Lo stesso metodo d'osservazione può essere adoperato per avere la legge delle attrazioni elettriche; ma in questo caso bisogna torcere il filo nel verso contrario onde impedire l'attrazione. La palla isolata dev' essere elettrizzata di elettricità contraria a quella del dischetto. Si portano a differenti distanze

l'una dall'altro, e si gira più o meno il micrometro nel verso contrario dell'attrazione, fino ad ottenere l'equilibrio. Si trova così che, *le attrazioni elettriche seguono la stessa legge delle repulsioni.*

Chiamando f l'intensità totale della forza con cui si attirano o si respingono due corpi sferici elettrizzati, posto che la loro distanza rettilinea sia eguale all'unità, portati alla distanza d, la forza colla quale seguitano ad attrarsi o a respingersi sarà espressa da $\frac{f}{d^2}$.

Resta ora a determinarsi in qual modo l'elettricità propria di ciascuno dei corpi intervenga nella forza totale d'attrazione o di repulsione che si spiega fra di essi. A questa determinazione è pure giunto Coulomb per mezzo della sua bilancia, riducendo successivamente, di metà in metà, le cariche elettriche della palla metallica elettrizzata di cui si fa uso in quest'apparecchio; ed esperimentando ogni volta la sua azione attrattiva o repulsiva sopra il dischetto dell'asta mobile, elettrizzato sempre della stessa quantità. Per togliere la metà del suo elettricismo alla palla metallica in discorso, basta toccarla con un'altra palla, della stessa natura, dello stesso diametro, ed egualmente isolata: l'elettricità della prima si divide sulle due palle, ed a ciascuna rimane la metà della primitiva carica. Toccando nuovamente la stessa palla con una nuova palla eguale, l'elettricità che resterà ad ognuna sarà $\frac{1}{4}$ della quantità primitiva, e così proseguendo si potrebbe ridurre la carica elettrica della prima palla ad $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ ec. di ciò che era in principio. Introducendo successivamente nella bilancia di Coulomb, la palla dopo ognuna di queste riduzioni, si osserva che onde mantenere costantemente alla stessa distanza il dischetto dell'asta mobile, è necessario diminuire in proporzione della diminuzione delle cariche della palla la torsione totale del filo. Da ciò deducesi che le *azioni elettriche sono proporzionali ai prodotti delle quantità d'elettricità che agiscono fra loro.* Infatti rappresentando con 1 la carica elettrica costante del dischetto, i prodotti delle quantità d'elettricità che agiscono fra loro prima e dopo le successive riduzioni sono 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ ec.; i quali variano appunto nella stessa guisa delle azioni attrattive o

repulsive. Quindi chiamando r ed r' le quantità di elettricismo di due corpi, e d la loro distanza, la forza totale con cui si attraggono o si respingono, sarà espressa da $\frac{rr'}{d^2}$. Questa forza vien chiamata *reazione elettrica.*

Distribuzione dell'elettricità sui corpi. Cominciamo a studiare come l'elettricità si disponga in equilibrio nei corpi conduttori isolati. Abbiamo visto che toccando una palla elettrizzata con un'altra simile allo stato naturale la quantità di elettricità contenutavi si riduceva a metà. Coulomb riconobbe facilmente che si otteneva lo stesso resultato adoprando una seconda palla di egual volume, qualunque fosse la sua natura e la sua massa, od anche una palla vuota, o un dischetto la cui superficie fosse eguale a quella della palla elettrizzata. Questi resultati non possono concepirsi senza ammettere che l'elettricità non si accumuli nelle parti interne dei conduttori, ma si porti invece alla loro superficie; la qual deduzione è perfettamente confermata da altre dirette esperienze. Infatti si abbia una sfera di ottone vuota ed isolata, la quale abbia un foro; si elettrizzi, e si porti a contatto delle sue interne pareti una pallina metallica isolata; questa non acquisterà la minima traccia di elettricità; come ci sarà facile provarlo accostandola ad un pendolino o ad un elettroscopio; ma se invece colla medesima toccheremo l'esterna superficie della palla, sarà facile mostrare, cogli stessi mezzi, che si sarà elettrizzata. Se una sfera di metallo isolata si copra con due emisferi cavi sottilissimi di foglia metallica, che si possano mettere e togliere mercè due manichi coibenti, e quindi si elettrizzi; se dopo si tolgano pe' manichi anzidetti gli emisferi, questi porteranno via tutta l'elettricità dal globo, il quale rimarrà allo stato naturale. Adunque l'elettricità comunicata ad un corpo conduttore isolato corre tutta a distribuirsi sulla superficie del corpo, formandovi così uno strato di cui la superficie esterna è quella stessa del corpo in contatto dell'aria. La grossezza di questo strato è sempre estremamente piccola, imperciocchè l'esperienza ha provato che la stessa quantità di elettricità era presa da una sfera piena, come da una di egual diametro vuota e formata da uno strato metallico della maggiore possibile sottigliezza.

L'accumulazione dell'elettricità alla superficie dei corpi è una conseguenza della forza repulsiva che anima le sue parti. Giunto alla superficie dei corpi l'elettrico vi è ritenuto dalla coibenza dell'aria; ma non di meno prosegue anche ivi ad essere animato dalla medesima forza di repulsione che tende a farlo sfuggire dal corpo; onde avviene che eserciti una continua pressione o *tensione*, come vien detta, sull'aria circondante. Sembra però che non sia totalmente per effetto della coibenza dell'aria che l'elettricità rimane alla superficie dei conduttori isolati, conciossiachè è oggi provato dai fisici che un conduttore può lungamente rimanere elettrizzato nel vuoto, sebbene con debolissima tensione.

A misura che in un corpo si accumula maggior copia di elettricità, lo strato superficiale della medesima anderà ingrossando, ovvero, conservando la stessa grossezza, aumenterà di densità; e poichè egli è indifferente ammettere l'una o l'altra di queste supposizioni, così egli è indifferente accennare alla *grossezza* o alla *densità* dello strato elettrico. È chiaro però che a misura che lo strato elettrico aumenterà alla superficie di un corpo, venendo a sommarsi tutte le forze repulsive delle sue parti, la sua tensione anderà aumentando in proporzione. Siffatta tensione si fa manifesta colla divergenza più o meno grande dei pendolini o delle pagliuzze di un elettroscopio situati a contatto o in prossimità del corpo elettrizzato: infine essa vince la resistenza dell'aria, allorquando l'elettricità esce dal conduttore sotto forma di scintilla.

Ma la elettricità che si raccoglie e si manifesta soltanto alla superficie dei conduttori isolati, ha dessa in tutti i punti la stessa tensione? A tale quesito ha risposto Coulomb, per mezzo della sua bilancia di torsione, e di un piccolo istrumento da lui chiamato *piano di prova*. Consiste il piano di prova in un piccolo disco metallico, fissato all'estremità di una bacchettina di gomma lacca: toccando col medesimo un punto di un conduttore isolato elettrizzato si sottrae da questo una porzione della sua elettricità. Coulomb riconobbe che tali sottrazioni sono proporzionali alla grossezza dello strato elettrico nel punto toccato, purchè il piano di

prova sia applicato tangenzialmente e levato perpendicolarmente alla superficie del corpo elettrizzato; talchè toccando con esso la superficie di un corpo elettrizzato nei suoi diversi punti, i rapporti delle tensioni ch'esso indicherà, daranno i rapporti delle grossezze dello strato elettrico o delle tensioni elettriche in questi stessi punti. La misura delle tensioni elettriche del piano di prova, vien data in ogni caso dalla bilancia di torsione. Ciò premesso, se col piano di prova saggiamo i diversi punti di un conduttore isolato di forma sferica, è facile riconoscere che la grossezza dello strato elettrico, e quindi la tensione elettrica, sono ovunque eguali. In un disco la tensione si mantiene uniforme nel mezzo, ma verso gli orli rapidamente cresce. In generale la tensione elettrica cresce nelle parti sporgenti dei conduttori e scema nelle parti cave o rientranti, d'onde accade che quando due sfere si toccano e sono elettrizzate, nel punto di loro contatto si ha una tensione nulla, la quale va a mano a mano crescendo per divenir massima ai punti opposti; e se le sfere sono tre, in modo che la media sia molto piccola rispetto alle estreme, quella si trova allo stato naturale, mentre queste sono elettrizzate. In un ellissoide di rivoluzione la tensione è massima ai poli e minima all'equatore, e la differenza di tali tensioni aumenta in proporzione della differenza dei due assi. Per la qual cosa le *punte* potendosi considerare come poli di ellissoidi allungatissimi, ne segue che la tensione in esse debba riuscire grandissima, ancorchè poca sia la carica del conduttore di cui fan parte; per cui avviene che questa tensione vincendo l'ostacolo dell'aria, l'elettrico ne esce e prontamente riduce il conduttore allo stato naturale. Egli è per questa causa che armando un conduttore qualunque di una punta metallica aguzza, ed elettrizzandolo in modo continuo, non si giunge mai a scorgere per mezzo di un elettrometro, la tensione stessa che manifestava allorchè era privo di punta. Infatti una gran parte della elettricità fluisce dalla medesima, come avviene di un liquido in un vaso in cui siasi praticato un foro. Nella ipotesi dei due fluidi, le punte danno sempre uscita all'elettrico; ma in quella di un sol fluido, se le punte si trovano con tensione positiva emettono, e se hanno tensione

negativa assorbono l'elettricità. Facendo l'esperienza nell'oscurità si vede l'elettrico scorrere dalle punte, presentando fenomeni luminosi differenti a seconda della natura dell'elettricità.

L'efflusso della elettricità dalle punte può dar luogo a dei movimenti più o meno rapidi. Si prenda una *stelletta metallica*, formata da varie aste metalliche incrociate, e le cui estremità sieno incurvate tutte in un verso, e terminate da punte aguzze. Per mezzo di una piccola cavità situata nel suo centro si sospenda ad un pernio metallico unito ad un conduttore, e sul quale possa con facilità ruotare orizzontalmente. Finchè il conduttore non è elettrizzato, la stelletta rimane immobile; ma appena si elettrizza, essa comincia a ruotare con grande rapidità nel verso contrario a quello in cui esce l'elettricità dalle punte, ed operando all'oscuro tutte le punte della stelletta sono luminose. Potrebbe supporsi che tal movimento fosse dovuto alla stessa causa per la quale abbiamo già visto prodursi de' movimenti nello scolo de' liquidi e dei gas in circostanze analoghe, vale a dire dovesse attribuirsi alla *reazione* prodotta dall'efflusso dello elettrico; il quale perciò agisse nella guisa stessa dei fluidi ponderabili; ma un'esperienza di Aimè dimostra che non è questa la causa del fenomeno. Difatto, se si ricuopre la stelletta di uno strato di vernice coibente eccettuato nelle punte, e si elettrizza nel vuoto della macchina pneumatica, essa non concepisce verun movimento, quantunque l'elettricità esca dalle sue punte, come può scorgersi operando all'oscuro. Appena si fa rientrar l'aria nella campana la stelletta comincia a rotare. Poichè lo strato di vernice coibente che ricuopre la stelletta impedisce la dispersione dell'elettricità, che avverrebbe nel vuoto, è chiaro che l'efflusso deve accadere come nell'aria, e perciò dovrebbe esservi il movimento. Il fenomeno è dunque indubitatamente dovuto alla repulsione che si produce fra le punte e l'aria da esse elettrizzata.

Chiamasi *capacità* dei conduttori per l'elettrico, la differente attitudine che hanno a contenere delle quantità più o meno grandi di elettricità. Dopo quanto abbiamo esposto intorno alla distribuzione dell'elettrico sui corpi conduttori sarà facile intendere come la loro capacità debba variare colla

estensione della loro superficie e colla loro figura, e come elettrizzando contemporaneamente più conduttori diversi fra loro, posti a contatto, essi debbano anche acquistare cariche differenti. Chiaro apparisce che la tensione di tali cariche sarà tanto minore quanto maggiore sarà la superficie dei conduttori; e se ai medesimi vorrà farsi acquistare la stessa tensione, sarà d'uopo separarli e comunicar loro delle quantità di elettricità proporzionali alle loro superfici. *La quantità di elettricità, o carica elettrica, è dunque in ragion composta della tensione che manifesta, e della capacità del conduttore.* Se un conduttore che è già provvisto di una certa carica, viene ad aumentare di capacità, è forza che la sua tensione diminuisca; ed al contrario al diminuire della sua capacità la sua tensione si farà maggiore. Ciò può facilmente provarsi con molte esperienze. Si abbia un conduttore formato da una serie di tubi che entrino l'uno nell'altro a guisa di quelli di un canocchiale, e al medesimo si comunichi una certa carica elettrica, la cui tensione sia resa manifesta dalla divergenza di un elettrometro o di un doppio pendolino applicato all'esterno dell'apparecchio. Per mezzo di un manico coibente, si estraggano gl'interni cilindri, facendo così acquistare al conduttore una superficie molto maggiore. Si vedranno tosto diminuire i segni della tensione; ma sarà facile far loro riacquistare il primitivo grado, respingendo in dentro i conduttori. Può anche farsi l'esperienza con un cilindro d'ottone, su cui siasi avvolta una lunga lamina di stagnola, la quale possa svolgersi e distendersi mediante un manico di ceralacca. Franklin si serviva di un piatto metallico, su cui accumulava una lunga catenella metallica sostenuta da un fil di seta: svolgendo la catenella, la capacità del conduttore aumentava, e la sua tensione diminuiva. Gli esposti principj ci spiegano come le cariche elettriche si disperdano affatto nel suolo. Infatti la terra, rispetto agli altri conduttori, ha una capacità infinita; perciò le cariche elettriche comunque grandi, non debbono manifestare su di essa alcuna tensione.

La capacità per l'elettrico dipende non solo dall'estensione superficiale dei conduttori, ma pur anco dalla loro figura. Il Volta mostrò coll'esperienza che di due conduttori eguali in

superficie, ha sempre maggior capacità quello che più si estende in lunghezza. Così ad eguaglianza di superficie, una lamina quadrata di stagno, mostra colla stessa quantità di elettricità una tensione molto maggiore di un lungo cilindro dello stesso metallo. Parimente Volta osservò che avendo un cilindro lungo due piedi e grosso due pollici, si ottiene molto maggiore accrescimento di capacità quadruplicandone la lunghezza di quello che non si avrebbe quadruplicandone il diametro. Perciò i conduttori formati da cilindri grossi e corti non sono giammai molto capaci, mentre sono tali i lunghi e sottili, quando non eccedano un certo limite, in guisa da venire a costituire una specie di sistema di punte.

Vediamo ora come si distribuisce l'elettricità nei corpi coibenti. L'elettricità tende a distribuirsi su questi come sui conduttori; se non che si arresta allorquando la loro facoltà coibente vince la forza repulsiva per cui l'elettrico tende ad espandersi. Toccando una lastra di vetro o un piano di resina con un conduttore elettrizzato, l'elettricità non si diffonde che a piccola distanza dal punto toccato. Può ciò facilmente dimostrarsi versando sul piano coibente, su cui sonosi fatti dei segni invisibili col corpo elettrizzato, della polvere di zolfo che si fa sortire da un sottil velo di seta: essa raccogliesi tutta sui punti toccati rendendo visibili i segni tracciati. Ripetendo l'esperienza sopra un piano di legno o di altra materia conduttrice, il fenomeno non si produce, attesa la diffusione dell'elettricità su tutte le parti superficiali del conduttore. I diversi corpi coibenti, non posseggono in grado eguale la loro facoltà isolatrice. La coibenza come la conducibilità sono facoltà relative; per cui può dirsi che il corpo il più coibente possiede anch'esso, quantunque in debol grado, una certa conducibilità. Il vetro e la ceralacca, sebbene ottimi coibenti, lasciano disperdere una porzione dell'elettricità contenuta nei conduttori che son destinati ad isolare. L'elettricità si distende sui coibenti a distanze più o meno grandi, a seconda del grado della loro facoltà isolante, ed anche a seconda della carica elettrica. Quanto più questa è grande, tanto maggiormente si estende sul coibente; ma si può sempre dare ad un sostegno isolante, tal lunghezza, da isolare

del tutto una data carica. Coulomb ha dimostrato che la gomma lacca è il più perfetto isolatore che si conosca. Per isolare una data carica al di sopra di una pallina metallica basta un filo di gomma lacca che abbia una lunghezza dieci volte minore di quello di un fil di seta dello stesso diametro; il che dimostra che sulla seta l'elettricità si distende dieci volte più che sulla gomma lacca. Il vetro è anch'esso un buon coibente: ma i sostegni isolatori fatti con questa sostanza, disperdono alquanto l'elettricità a motivo di un velo o strato di acqua che si deposita sulla loro superficie; ed è perciò che di ordinario cotesti sostegni ricuopronsi di uno strato di vernice di gomma lacca, la quale è assai meno igrometrica del vetro. Anche per l'aria si dissipa alquanto l'elettricità accumulata sui corpi. Egli è principalmente mediante l'umidità atmosferica che si opera questa dispersione. Infatti Coulomb ha dimostrato che per una data carica elettrica la perdita che un conduttore isolato subisce in un giorno di massima siccità sta alla perdita che subisce in un giorno di masssima umidità come 20 a 70. Se si alita intorno ad un conduttore isolato elettrizzato, ben tosto si trova del tutto scarico. La rarefazione accresce pure la conducibilità dell'aria, ed ecco perchè girando attorno ad un conduttore elettrizzato con una candela accesa si vede tosto scaricarsi. Deve al certo attribuirsi a questa causa il vantaggio, spesso volte osservato, accendendo dei grandi fuochi di legna leggiere coll' intento di scaricare le nubi cariche di elettricità, e così dissipare i temporali.

Fenomeni d'influenza o d'induzione elettrica. — Dicesi *elettricità indotta* o *d'influenza* quella che si svolge nei conduttori per la semplice vicinanza di un corpo elettrizzato senza che alcuna elettricità si comunichi da questo a quelli. È facile dimostrare coll'esperienza questa nuova maniera di elettrizzare i corpi. *A* sia un conduttore isolato elettrizzato di elettricità positiva (*Tav.* I, *Fig.* 5) e *B* sia un altro conduttore parimente isolato, ma allo stato naturale, il quale sia posto ad una certa distanza dal primo, e sia fornito su tutta la sua lunghezza di varj pendolini doppi. Se la sua distanza dal primo è considerevole, i suoi pendolini non danno alcun

segno di elettricità; ma se gli si avvicina vedesi che giunto a breve distanza varj de'suoi pendolini divergono dando indizio di elettrizzazione. Ne è da credersi che ciò sia avvenuto per comunicazione, perocchè il fenomeno si produce anche quando s'interpone qualunque coibente tra i due conduttori; ed inoltre lo stato elettrico del conduttore *B* si distrugge tosto che questo si allontana dal conduttore *A*. Ma non tutti i punti del conduttore *B* sono egualmente elettrizzati dall'influsso dell'altro. Difatti si osserva che i pendolini che trovansi alle sue estremità *m* ed *n* divergono maggiormente dei pendolini elettrizzati che sono in *p*; ed anzi verso il mezzo del cilindro v'ha un punto, nel quale non v'è affatto divergenza. Anche per mezzo di un piano di prova si può acquistare la certezza di cotesta disuguale distribuzione dell'elettricità nel conduttore influenzato. L'osservazione adunque dimostra che un corpo elettrizzato per influenza possiede nei punti più prossimi al corpo elettrizzato induttore, e nei più lontani, la massima elettricità, mentre fra di essi ve ne sono degl'intermedj non elettrizzati, ai quali si giunge gradatamente partendo dalle estremità. Se poi si esplora la natura dell'elettricità che possiede il conduttore influenzato, si trova che all'estremità più prossima al corpo induttore, che abbiamo supposto elettrizzato positivamente, l'elettricità svoltasi è negativa, mentre all'estremità opposta è positiva. Le tensioni delle due elettricità vanno diminuendo verso la linea neutra posta nel mezzo. L'accennata esplorazione può farsi con un bastone di ceralacca confricato. In *m* esso respinge i pendolini, mentre in *n* li attira. Se il conduttore *A* fosse stato elettrizzato negativamente, si troverebbe elettricità positiva in *m* e negativa in *n*. In generale quella elettricità che si raccoglie per influenza nella parte più prossima al corpo induttore è sempre di natura contraria a quella di quest'ultimo; mentre l'elettricità che si raccoglie nella parte più lontana è sempre di natura eguale alla sua.

Un conduttore elettrizzato per influenza può agire come induttore sopra un altro postogli in vicinanza, verificandosi sempre la medesima distribuzione dell'elettricità sul conduttore nuovamente influenzato.

Degli esposti fenomeni è facile rendersi ragione sia colla teoria simmeriana, sia con quella di Franklin. Nella prima si ammette che la elettricità del corpo induttore decomponga una parte del fluido neutro dell'indotto, chiamando verso di sè il fluido contrario, e respingendo nella parte opposta l'omologo. Allorquando cessa l'induzione i due fluidi ricombinansi per costituire di nuovo il fluido neutro, ed il corpo influenzato riprende lo stato naturale. Nella teoria di Franklin, se il corpo induttore è elettrizzato positivamente, la sua influenza sull'altro si riduce ad uno spostamento del fluido naturale di questo verso la parte più lontana che si elettrizza perciò positivamente, restando negativamente elettrizzata la parte più prossima; e se invece l'induttore è elettrizzato negativamente lo spostamento indicato avviene nel verso contrario; vale a dire l'accumulazione del fluido naturale del corpo indotto avviene nell'estremità più vicina all'induttore.

Lo stato elettrico prodotto nei corpi per influenza può distruggersi in due modi diversi, vale a dire lentamente, ovvero in un solo istante. Si ottiene un lento ritorno allo stato naturale di un corpo elettrizzato per influenza, allontanandolo dall'induttore; ed infatti i segni di tensione che manifestava si veggono sparire a poco a poco; mentre ottiensi rapido ed istantaneo, scaricando subitamente l'induttore coll'accostarvi un dito od altro conduttore, in guisa da trarne una scintilla. In quest'ultimo caso, i segni di tensione del conduttore influenzato spariscono istantaneamente, e i suoi doppj pendolini richiudonsi ad un tratto tutti insieme. Questa rapida scarica, o come vuol dirsi, questo rapido passaggio di elettricità attraverso il corpo indotto, produce un'alterazione ed uno scuotimento analoghi a quelli che risentono i corpi che vengono direttamente investiti da una scarica elettrica, o sui quali, come si dice, si scarica l'elettrico. Nel caso dei corpi elettrizzati per influenza, la scarica, non essendo diretta, prende il nome di *contraccolpo*. Ma avremo luogo di tornare a trattare di queste scariche.

Sin qui abbiamo supposto che il conduttore soggetto all'influenza elettrica non fosse in comunicazione col suolo; vediamo ora ciò che avviene allorquando vi comunica. Se mentre il conduttore isolato *B* delle precedenti esperienze, è elet-

trizzato per influenza dall'altro A, vien toccato con un dito o con un altro conduttore in uno dei punti in cui è raccolta l'elettricità respinta dall'induttore, e quindi viene allontanato da questo, si osserva che da esso è sfuggita tutta l'elettricità omologa a quella dell'induttore e che è invece rimasto carico della contraria. Ma per ottenere questo effetto non è già necessario toccarlo nei punti più lontani dall'induttore; basta a ciò mettere in comunicazione col suolo qualunque punto di esso, sia pure il più vicino all'induttore. In ogni caso è sempre l'elettricità omologa quella che è respinta nel suolo, e la contraria è ritenuta. Il qual fenomeno facilmente s'intende, riflettendo che quando si mette il conduttore influenzato con un suo punto qualunque in comunicazione col suolo, ciò equivale a farne un sol conduttore colla terra; e poichè per le leggi dell'influenza elettrica, l'elettricità omologa a quella dell'induttore vien respinta nella parte più lontana del corpo indotto, ne avviene che tutta questa elettricità respinta si diffonde sulla immensa superficie della terra, ove la sua tensione diviene insensibile. Frattanto è da osservarsi come l'esposto fenomeno ci somministri un mezzo per aver libera e separata una delle due elettricità sviluppate per influenza.

Il fenomeno dell'influenza elettrica è di una grande generalità. Anche i primi fatti di elettricità da noi citati, vale a dire quelli dell'attrazione dei corpi leggieri dalle sostanze elettrizzate, ne dipendono. Infatti se non v'ha corpo elettrizzato che non agisca per influenza su quelli che lo circondano; egli è evidente che la prima azione che il medesimo spiega sui piccoli corpi che attrae è un'azione d'influenza; e l'attrazione che poi si sviluppa fra di essi avviene fra le due contrarie elettricità. Ed è ciò così vero, che l'attrazione cessa o si fa malamente sui piccoli corpi coibenti, imperciocchè difficilmente può scorrere su di essi l'elettricità per accumularsi in una delle loro parti. Se prendonsi due pendolini a fil di seta, formati l'uno da una pallina di ceralacca, l'altro da una pallina eguale di ceralacca dorata alla superficie; il primo non è attratto da un corpo elettrizzato, mentre l'altro lo è con facilità.

È pure all'influenza elettrica che debbonsi i segni degli elettroscopj. Allorquando si accosta ad una certa distanza un

corpo elettrizzato alla pallina di un elettroscopio, veggonsi aprire le sue due paglie o foglie di oro. Questa divergenza è dovuta alla elettricità omologa a quella del corpo, la quale per induzione è respinta nella parte più lontana del conduttore influenzato. Se mentre questa divergenza sussiste, si tocca con un dito la pallina dell'elettroscopio, i segni di tensione spariscono; ma se poscia si allontana il dito ed il corpo induttore, questi segni ricompariscono, e sono al certo prodotti dall'elettricità contraria a quella del corpo induttore, la quale riman libera sulla pallina e sulle foglie dell'elettroscopio. Se allora si accosterà all'istrumento un nuovo corpo elettrizzato, se il medesimo possederà la stessa elettricità indicata da quello, la divergenza aumenterà perchè la nuova induzione spinge sulle foglie dell'elettroscopio nuova elettricità della stessa specie della prima; se invece sarà elettrizzato di elettricità contraria, la divergenza diminuirà od anche cesserà, perchè vi sarà parziale o totale neutralizzazione fra il primitivo stato elettrico delle foglie ed il nuovo prodotto dall'influenza. Non dimeno la diminuzione della divergenza delle foglie di un'elettroscopio può essere anche prodotta dall'avvicinamento di un corpo allo stato naturale, perchè il medesimo, essendo influenzato dall'elettricità dell'elettroscopio, richiamerebbe questa nella parte più vicina a sè, e la divergenza delle foglie diminuirebbe. Perciò l'interpretazione dei segni degli elettroscopj è cosa molto delicata e richiede grande attenzione. Nondimeno si può stabilire che l'aumento della divergenza è un segno sicuro di elettricità omologa a quella dell'istrumento, mentre la diminuzione della divergenza non è sempre indizio di elettricità contraria, a meno che dessa non sia oltremodo grande ed anche cessi del tutto per ricomparire in seguito ad un maggiore avvicinamento del corpo elettrizzato, prodotta da un'elettricità contraria. Onde eseguire queste esperienze comparative cogli elettroscopi è necessario disseccare completamente l'aria che contengono per mezzo di corpi igrometrici. Si accresce anche la sensibilità di questi istrumenti aggiungendo due colonnette metalliche *a* e *b* a poca distanza dalle foglie, e nello stesso piano in cui divergono (*Tav.* 1, *Fig.* 6). Le medesime elettrizzandosi per

influenza, accrescono la divergenza delle foglie; e di più servono a scaricarle quando giungono in contatto loro.

Sugli esposti principj dell'induzione elettrica è fondata la costruzione di quei congegni destinati a raccogliere considerevoli quantità di elettricità svolta per confricazione. Son dessi conosciuti col nome di

Macchine Elettriche. Una macchina elettrica è essenzialmente composta di un corpo strofinante, di un corpo strofinato e di un conduttore isolato. Ottone di Guericke, l'inventore della macchina pneumatica, fu pure l'inventore della macchina elettrica. Nel primo apparecchio ch'egli costruì, il corpo strofinato consisteva in un globo di zolfo montato sopra un asse orizzontale a cui poteva imprimersi un rapido movimento di rotazione; il corpo confricante era la mano, che doveva tenersi applicata sulla superficie del globo. A questo globo di zolfo fu poscia sostituito un globo o un cilindro di vetro, ed alla mano furono sostituiti dei cuscini di pelle. Nelle odierne macchine elettriche il corpo strofinato è ordinariamente un disco di vetro mobile intorno al suo asse mercè un manubrio; da corpo strofinante fanno comunemente quattro cuscini di pelle ripieni di crini e spalmati di un'amalgama di zinco e stagno ovvero di quel solfuro di stagno che dicesi *oro musivo*; ed infine il conduttore consiste in uno o più cilindri di ottone sostenuti da colonne di vetro, forniti di punte a piccola distanza dal disco, le quali sogliónsi distribuire in modo da presentare quattro pettini, due nella parte anteriore e due nella parte posteriore del disco.

La macchina rappresentata nella *Fig.* 7, *Tav.* I, è fornita di due conduttori *ff'* congiunti con una traversa *g*, sulla quale si pone l'elettrometro a quadrante: questi conduttori sono sostenuti ed isolati dalle colonne di vetro *h*, e terminano con due *mascelle* *i* fornite di punte, le quali comprendono il margine del disco *a*, alle estremità del suo diametro orizzontale. I quattro cuscini *x* sono fissati al cavalletto di legno *d*, che è solidamente impiantato sul tavolino che sostiene tutta la macchina. Attraverso questo cavalletto passa l'asse del disco fornito del manubrio *b*.

Ciò posto, ecco come si dà ragione della elettricità positiva che si raccoglie sul conduttore di queste macchine, secondo

le due ipotesi che abbiamo sopra accennate. Nella ipotesi di Symmer i cuscini della macchina prendono l' elettricità negativa o resinosa, e il disco la positiva o vitrea; ma i cuscini essendo in comunicazione col suolo, imperocchè il cavalletto che li sostiene non è isolato, tornano allo stato naturale, e resta il disco carico di elettricità positiva; ed il medesimo operando per influsso sul conduttore isolato ne decompone il fluido neutro, richiamando il resinoso nella parte anteriore, ove sono le punte, le quali non potendo trattenerlo lo lasciano fluire sulla superficie del disco, ove si unisce al fluido vitreo che vi s'è raccolto, riconducendo il disco allo stato naturale. Perciò il conduttore, che per le punte ha perduto l'elettricità negativa, deve restare carico di elettricità positiva. Nella teoria di Franklin i cuscini perdono elettricità, il disco di vetro ne acquista; perciò i primi si elettrizzano negativamente, il secondo positivamente; ma i cuscini essendo in comunicazione col suolo, prendono da questo tanta elettricità quanta ne han data al disco, e si rimettono allo stato naturale. Il disco intanto per l'acquistata elettricità positiva opera per influsso sul conduttore isolato, accumulando il fluido naturale di questo nella sua parte più lontana; intanto le punte elettrizzate negativamente per deficienza di elettricità assorbono quella eccedente del disco portandola sul conduttore, il quale poichè aggiunge alla sua naturale elettricità questa che dal disco gli viene per le punte sarà positivamente elettrizzato.

La macchina elettrica che abbiamo descritta, è atta solo a dare elettricità positiva; ma è chiaro che se si mettesse un conduttore in comunicazione co' cuscini, essendo questi isolati, esso si elettrizzerebbe negativamente. Perciò isolando la macchina sopra zoccoli di vetro, facendo il manubrio di vetro, ovvero isolando l'operatore, facendo comunicare col suolo l'ordinario conduttore; e disponendone un altro isolato in modo che possa prendere l'elettricità dei cuscini, si ha una macchina che fornisce elettricità negativa. Si aggiungono talvolta alla macchina elettrica dei *conduttori secondarj*, consistenti in lunghi cilindri di ottone o di latta disposti a rettangolo e sospesi al soffitto mediante delle corde di seta. Ponendo questi conduttori in comunicazione con quello della macchi-

ca, l' intiero sistema si carica di elettricità, ed essendo così aumentata la capacità della macchina, si accumula su di essa una quantità assai più considerevole di elettricità, e se ne possono trarre delle scintille più grosse.

Van Marum immaginò una macchina elettrica disposta in guisa da somministrare a volontà l'elettricità positiva o la negativa, vale a dire quella del disco o quella dei cuscini. In questa macchina le due paja di cuscini sono disposte sopra un diametro orizzontale (*Tav.* I, *Fig.* 8) e sostenute da degli emisferi di ottone z z'. I conduttori consistono in due archi mobili x x' e y y', i quali debbono sempre rimanere in piani perpendicolari tra loro. Quando l'arco x x' è verticale, l'altro y y' è orizzontale; questo comunica coi cuscini e fa passare la loro elettricità nel suolo, mentre l'arco x x' ed il globo g, si caricano di elettricità positiva. Al contrario, quando x x' è orizzontale y y', è verticale, comunica col disco e fa passare la sua elettricità nel suolo, mentre x x' raccoglie la elettricità dei cuscini la quale si spande sul globo g e sugli emisferi z z'.

La macchina di Narne, rappresentata dalla Figura 9, Tavola I, è pure disposta per dare le due elettricità; ma le fornisce simultaneamente su due conduttori differenti v ed r. Il corpo confricato consiste in un gran cilindro di vetro a, mobile intorno un un asse orizzontale b, ed è strofinato nel verso della sua lunghezza da un solo cuscino e: l'elettricità svolta dal vetro elettrizza positivamente il conduttore v, e quella del cuscino elettrizza negativamente il conduttore r.

Per mezzo delle macchine elettriche possono in modo più grandioso costatarsi molte delle proprietà dei corpi rispetto all'elettricità. Così si suol mostrare, che un corpo qualunque buon conduttore, fosse anche una persona, può totalmente caricarsi di elettricità, allorquando si pone in comunicazione colla macchina sopra un piano isolatore qualunque. Si suole a tal uopo fare uso del così detto *sgabello elettrico*, consistente in uno sgabello di legno con piedi di vetro, sul quale si fa salire la persona che vuole elettrizzarsi, e che deve porsi in comunicazione col conduttore della macchina per mezzo di una catenella metallica, ovvero anco mediante

la mano. Facendo agire la macchina, tutto il corpo della persona isolata si carica di elettricità, ed è facile trarre delle scintille da qualunque parte di esso; i capelli si raddirizzano e si dirigono verso i corpi che loro vengono avvicinati. Allorquando si avvicina il dorso della mano al disco o al conduttore della macchina elettrica, mentre è in azione, si sente come una specie di venticello, che dicesi *aura elettrica*, la quale dipende dalla repulsione cui va soggetta l'aria che trovasi a contatto delle parti elettrizzate della macchina.

Dissimulazione dell'elettricità. Immaginiamo due dischi conduttori *A, B* (*Tav.* I; *Fig.* 10) posti in presenza e separati da una lamina non conduttrice *MN* di vetro o di resina; quando il disco *A* riceve, per esempio, della elettricità positiva, e il disco *B* della negativa, queste due elettricità si attirano attraverso la lamina non conduttrice *MN*, e ne premono le opposte facce collo sforzo che fanno per ricombinarsi. In tali circostanze se i due dischi sono provvisti di pendolini doppj o di altri indicatori della tensione elettrica, questi danno solo deboli segni di elettricità, perchè le due cariche richiamate dalla loro reciproca attrazione nelle parti più prossime dei due dischi, si occultano mutuamente. Si dice allora che le due elettricità sono *dissimulate*. Non solo i due dischi danno appena indizio di tensione, ma possono anche essere toccati *separatamente* senza che si scarichino. Ciò avviene anche quando sono accumulate sui due dischi le più forti cariche elettriche. Supponiamo che i due dischi sieno matematicamente della stessa forma e grandezza, che la lamina *MN* sia egualmente piana sulle sue due facce e da per tutto della stessa grossezza; e che la macchina o la sorgente qualunque che dà della elettricità positiva al disco *A*, sia esattamente della stessa forza di quella che dà dell'elettricità negativa al disco *B*, in guisa che tutto sia simmetrico dalle due parti del piano che passa in mezzo allo strato *MN*: allora è evidente che i due dischi avranno sempre delle cariche eguali, e che nei punti simmetricamente posti su ciascuno di essi, le grossezze o le tensioni elettriche saranno anche sempre le stesse. Ciò posto, ecco un principio fondamentale dell'elettricità dissimulata; ed è che dopo aver dato all'apparecchio una carica

qualunque ed averlo quindi isolato, accade sempre che *la dissimulazione è incompleta*, vale a dire che non esiste alcun punto sui dischi in cui la tensione elettrica sia affatto nulla. Questa tensione è grandissima sulle facce interne, e quivi quando le superfici hanno sufficiente estensione, i fluidi possono premere la lamina *MN* con tanta forza da aprirsi un passaggio attraverso la sua sostanza, forandola per riunirsi; chè se questa lamina è di resina o di zolfo, vi si fanno un gran numero di piccole fessiture appena discernibili, mentre se è di vetro sottile, vi si forma un sol foro, attraverso il quale le due elettricità si precipitano con fragore per riunirsi. Sulle facce esterne, la tensione elettrica che si esercita contro l'aria è debolissima in confronto della interna, ma non di meno esiste, come è possibile assicurarsene col piano di prova, od anche presentando la giuntura di un dito, successivamente ad ogni disco, perchè se ne traggono delle piccole scintille. La dissimulazione non può esser completa, conciossiachè le elettricità accumulate per la maggior parte sulle facce interne restano tuttavolta separate dalla grossezza della lamina non conduttrice *MN*, mentre è solo col perfetto contatto che può accadere la loro neutralizzazione. Perciò la dissimulazione è tanto più perfetta quanto più sottile è la lamina coibente; ma frattanto quanto più sottile è la lamina, tanto minor resistenza offre alla pressione delle due elettricità. Da ciò nasce un limite all'accumulazione dell'elettrico. L'apparecchio essendo caricato nel modo da noi esposto, le elettricità dissimulate possono ricomporsi subitamente o lentamente: subitamente, ponendo in comunicazione i due dischi mediante un corpo conduttore qualunque; lentamente, toccando successivamente prima l'uno, quindi l'altro disco. Ad ogni contatto si porta via una piccola quantità di elettricità del disco che si tocca, cosicchè gli si toglie una porzione di forza attrattiva che esercitavasi sull'altro piatto, per cui questo dà segno di maggior tensione; ma se allora a sua volta si tocca anche il medesimo, l'accresciuta tensione sparisce per ricomparire ad un nuovo contatto dell'altro. Questi fenomeni si riproducono successivamente, fintanto che per una serie di ripetuti contatti tutto l'apparecchio non si è scaricato.

Noi abbiamo fin qui supposto che i dischi fossero caricati, l'uno da una sorgente di elettricità negativa, l'altro da una sorgente di elettricità positiva, e che ne ricevessero quantità eguali; ma ciò non è necessario per la dissimulazione delle cariche, bastando anche una sola sorgente di elettricità a produrre tale effetto. Allora si pone uno dei dischi in comunicazione colla sorgente e l'altro in comunicazione col suolo: quest'ultimo si carica tosto per influenza facendo passare nel suolo l'elettricità omologa a quella della sorgente, e intanto sopra le facce più prossime dei due dischi accade l'accumulazione e la dissimulazione delle due cariche opposte; l'aumento delle quali da altro non è limitato che dalla resistenza dello strato coibente interposto ai dischi.

Gli apparecchi fondati sopra gli esposti principj e destinati ad accumulare quantità più o meno grandi di elettricità dissimulate o *latenti*, hanno il nome generico di *condensatori*; ma di questi ve ne ha molte specie.

Il *condensatore di taffetà ingommato* è formato di due parti, vale a dire di un piatto di legno coperto con taffetà ingommato, e di un disco metallico munito di un manico isolatore. Il disco metallico posto in comunicazione con una sorgente elettrica si carica di elettricità che si spande su tutta la sua superficie, e a traverso del taffetà agisce per influenza sul piatto di legno che deve comunicare col terreno, e l'apparecchio si carica proporzionalmente alla tensione della sorgente che gli fornisce il fluido. Quindi sollevando il piatto metallico, trovasi carico di un'elettricità molto intensa e della stessa specie di quella della sorgente. Il taffetà ingommato essendo sottilissimo rende facile l'azione dell'influenza, cosicchè l'apparecchio è utile per raccogliere l'elettricità che abbia poca tensione. Il Volta adattò il condensatore all'elettroscopio a foglie d'oro, ed ottenne un apparecchio atto a raccogliere ed a rendere sensibili debolissime cariche elettriche, il quale è noto nella scienza col nome di *Condensatore a foglie di oro*. L'asta di ottone che porta le foglie d'oro dell'elettroscopio, invece di essere terminata nella parte superiore da una sfera di ottone, sostiene un disco metallico sul quale si colloca un pezzo di taffetà ingommato (*Tav.* I, *Fig.* 11)

alquanto più grande del disco e destinato ad isolare quest'ultimo da un secondo disco affatto simile, ma a manico di vetro, che si appoggia sul primo. Per rendere sensibili con questo apparecchio delle quantità anche minime di elettricità in un corpo, si fa comunicare quest'ultimo col disco superiore, che ha perciò il nome di disco *collettore*, e si mette l'altro disco in comunicazione col suolo toccandolo col dito leggermente bagnato (*Tav.* I, *Fig.* 12). L'elettricità del corpo sottoposto all'esperimento si diffonde allora sul disco collettore, agisce per influenza attraverso del taffetà sul secondo disco e sulla mano, per respingere nel suolo l'elettricità dello stesso nome ed attrarre quella di nome contrario. I due fluidi si accumulano quindi sui due dischi, ma senza che succeda divergenza nelle foglie d'oro, perchè v' ha dissimulazione delle due elettricità. Essendo l'apparecchio così caricato, si allontana dapprima il dito, indi la sorgente di elettricità, senza che si produca alcuna divergenza; ma sollevando il piatto superiore (*Tav.* I, *Fig.* 11) la dissimulazione cessa, l'elettricità del secondo disco si distribuisce equabilmente sull'asta e sulle foglie d'oro, e quindi quest'ultime divergono assai. Si aumenta la sensibilità dell'apparato sopprimendo il pezzo di taffetà e separando i due dischi soltanto con uno stratò sottilissimo di vernice di gomma lacca che vi si stende sopra. Inoltre è più conveniente prendere per piatto collettore il disco inferiore, perchè il disco che comunica colla sorgente è quello che si carica di più.

Quando si vogliono condensare grandi quantità di elettricità ricorrendo a forti sorgenti, convien tenere separati i due dischi metallici per mezzo di un grosso strato coibente. Si hanno allora quei famosi condensatori conosciuti coi nomi di *Quadro elettrico e di bottiglia di Leida.*

Il *quadro elettrico* consiste in una lastra di vetro, sulle facce opposte della quale sono incollate due lamine di stagnola, in modo che terminino a poca distanza dai margini della lastra, i quali affinchè sieno maggiormente coibenti sono ricoperti da uno strato di vernice di gomma lacca. Per caricare questo condensatore si presenta una delle lamine di stagnola alla macchina elettrica, e si fa comunicar l'altra col suolo mediante la mano.

La *bottiglia di Leida* consiste in un vaso di vetro rivestito all'esterno da una foglia metallica, che è ordinariamente stagnola, fino ad una certa distanza dai bordi: l'interno è pure rivestito della stessa foglia metallica, ovvero ripieno di sostanze conduttrici, come ritagli di stagnola, foglie d'oro, munizione di piombo ec., dal mezzo delle quali s'innalza, traversando un turacciolo, un'asta metallica terminata da una palla della stessa materia. I margini superiori della boccia, come pure il turacciolo debbono essere accuratamente rivestiti di uno strato assai denso di vernice coibente. Del resto la forma che si dà a questo apparato è variabile, essendo ora formato da una vera bottiglia (*Tav.* I, *Fig.* 13) ed ora da un vaso a largo collo (*Tav.* I, *Fig.* 14). Le materie conduttrici interne insieme all'asta metallica ed al suo *bottone*, costituiscono l'*armatura interna* dell'apparato, mentre la lamina di stagnola che ricuopre la bottiglia al di fuori, forma *l'armatura esterna.* Per caricare la bottiglia si tiene in mano per l'armatura esterna e si mette in comunicazione il suo bottone col conduttore della macchina, sia a contatto, sia ad una piccola distanza per vedere scoccare le scintille, le quali in principio si succedono rapidamente, quindi rallentansi sempre più, fino a sparire affatto, indicando così il grado della carica. È facile interpretare ciò che avviene in tali circostanze. L'armatura interna si è da prima caricata ad equilibrio di tensione col conduttore, secondo la propria capacità; ma questa elettricità operando per influsso attraverso il vetro sull'armatura esterna, ha richiamato sulla faccia di questa, che è a contatto del vetro, l'elettricità contraria, mentre ha respinto sull'altra faccia l'elettricità omologa; e poichè l'armatura esterna comunicava col suolo mediante il corpo dell'operatore, è rimasta in essa soltanto l'elettricità contraria, e quindi è accaduta la dissimulazione: per tal modo l'armatura interna ha ricevuto nuova elettricità dal conduttore della macchina, la quale ha promosso nuova influenza e quindi nuova dissimulazione; e così è accaduto successivamente, fino a che l'armatura interna, oltre all'elettricità dissimulata, si è trovata possedere una tensione da fare equilibrio a quella del conduttore della macchina. Ma se le pareti della boccia fos-

sero molto sottili, le due cariche contrarie accumulate sulle armature potrebbero traversarle, per combinarsi ed operare la rottura del vetro in qualche punto.

È manifesto che la bottiglia di Leida può anche caricarsi tenendo in mano la sua armatura interna, ossia la verga metallica della medesima, ed accostando al conduttore della macchina l'armatura esterna. Allora l'accumulazione delle due cariche avviene per versi contrarj.

Dopo quanto abbiamo esposto apparirà chiaramente che se si isola la boccia di Leida, vale a dire se non si fa comunicare la sua armatura esterna col suolo, essa si caricherà appena, perocchè senza la dissimulazione non si può accrescere la sua capacità. E perciò accostandola in tali circostanze così isolata al conduttore della macchina, se l'aria sarà secca, si vedranno scoccare dal medesimo sul bottone della boccia poche scintille.

Volendo conoscere la carica di un coibente armato convien determinare la tensione di essa, e la capacità del coibente. La tensione può essere indicata da un elettrometro posto in comunicazione coll'armatura interna; la capacità si giudica dal numero delle scintille scoccate dal conduttore per produrre una determinata tensione. Così, la capacità di un dato coibente armato sarà doppia di quella di un altro, quando avrà d'uopo di un numero doppio di scintille elettriche per indicare la stessa tensione.

La capacità dei coibenti armati dipende dall'estensione delle armature. Perciò, onde accumulare delle grandi quantità di elettrico si possono usare delle enormi boccie di Leida, ovvero se ne possono riunire varie delle piccole, in modo che le loro armature comunichino e formino un solo apparecchio. In quest'ultimo caso si ottiene ciò che dicesi una *batteria elettrica* (*Tav.* I, *Fig.* 15). Tutte le bottiglie di una batteria sono riunite in una specie di scatola vestita internamente di una foglia di stagnola, la quale comunica col suolo mediante una catenella metallica: tutte le armature interne comunicano insieme per mezzo di verghe metalliche; e quindi possono contemporaneamente mettersi in comunicazione col conduttore della macchina elettrica.

La carica di un coibente armato, ovvero di una batteria elettrica, non può mai oltrepassare certi limiti, i quali dipendono dalle perdite continue della elettricità accumulata, che avvengono sia per il contatto dell'aria, sia per le scariche parziali che si producono lungo il coibente fra le due armature, e che sono tanto più considerevoli, quanto più intensa è la carica. Quando una boccia è carica a saturazione, essa produce un certo stridore che è prodotto dal continuo e lento scaricarsi dell'elettricità dell'armatura interna sopra l'esterna. Ammesse anche tutte le circostanze idonee ad impedire queste perdite, come sarebbero una perfetta siccità dell'ambiente ed un'ottima verniciatura della porzione nuda del coibente, la carica non potrebbe giammai essere indefinita; conciossiachè si giungerebbe ad un punto in cui le tensioni diverrebbero così forti da produrre la scarica attraverso la grossezza del coibente, e col traforamento di questo.

A fine d'impedire in gran parte la dispersione dell'elettricità, che nelle bottiglie di Leida avviene per la vicinanza delle armature tra loro, il fisico Cavallo immaginò di chiudere nel collo della bottiglia un tubo di vetro che giungesse sino al suo fondo, e lo vestì internamente di stagnola solo nella sua metà inferiore; fece terminare esternamente la verga metallica colla solita pallina e la fissò nel tubo, ma in modo che non giungesse a toccare la stagnola. Entro il tubo pose un filo di metallo libero che toccasse l'armatura interna; ma non assai lungo da giungere a toccare l'estremità della verga metallica. Volendo caricare una di queste bocce, pigliasi colla mano e si capovolge; in questa guisa il filo metallico chiuso nel tubo scende, va a toccare la verga metallica, e stabilisce così la comunicazione coll'interno. Rimettendo poi la boccia nella sua posizione naturale, il filo metallico ricade nel fondo del tubo, e la verga rimane separata per un lungo tratto di vetro dall'armatura interna. Così la sua elettricità può difficilmente dissiparsi e scorrere, come fa nelle bocce ordinarie, sulla superficie del coibente per mezzo della verga, dall'armatura interna all'esterna.

Le perdite cui vanno soggetti i coibenti armati, per essere tanto più grandi, quanto maggiori sono le tensioni delle ca-

riche, impediscono di poter caricare delle forti batterie con deboli macchine elettriche. Infatti si giunge ad un punto in cui la quantità di elettricità che si dissipa da ciascuna boccia è eguale alla quantità di elettricità che ad ogn'istante le viene comunicata dalla macchina, ed allora evidentemente la carica non aumenta. Ma se la macchina elettrica sarà molto potente, si giungerà molto più difficilmente a questo punto di equilibrio, ed intanto la batteria avrà luogo di acquistare una grande carica.

Si può nondimeno con un particolare artificio caricare anche una batteria di molte bottiglie, mediante una macchina non molto forte. Si adatta allora un uncino metallico al fondo dell'armatura esterna di ogni boccia, e si sospende la prima boccia al conduttore della macchina colla sua armatura interna, come indica la figura 16, Tav. I; la seconda boccia si sospende coll'uncino della sua armatura interna all'uncino dell'armatura esterna della prima boccia, e così di seguito fino all'ultima, di cui l'armatura esterna si fa comunicare col suolo. Facendo agire la macchina, l'armatura interna della prima boccia si carica di elettricità positiva, e respinge dall'armatura esterna altra elettricità positiva, che entra nell'armatura interna della seconda bottiglia, e la carica, e così di seguito. Questa maniera di caricare le bottiglie, fu immaginata dal Franklin e dicesi per *cariche conseguenti*. Egli è certo però che le diverse bottiglie non contengono le stesse quantità di elettricità, e che le loro cariche decrescono progressivamente dalla prima verso l'ultima; imperocchè la carica prodotta per influenza è sempre minore della inducente, ed è inoltre impossibile che una porzione della elettricità che da una boccia è spinta nell'altra non si disperda.

Quando si vuole scaricare un coibente armato o una batteria si adopra un arco metallico terminato con due palline, e si dispone in modo che una delle sue estremità tocchi l'armatura esterna, e l'altra si accosti ad un punto qualunque dell'armatura interna. Si vede allora balenare una scintilla più o meno grossa a seconda della carica, accompagnata da un certo fragore. Di ordinario l'arco metallico che si adopra a quest'uso è articolato per allontanarne più o meno le estre-

mità, ed è fornito di uno o due manichi di vetro verniciato. In questo modo aggiustato prende il nome di *scaricatore* (*Tav.* I, *Fig.* 17). La boccia di Leida può anche scaricarsi lentamente mediante successivi contatti colle due armature, nel modo stesso che indicammo parlando del condensatore. Ad ogni contatto si trae dalla boccia una piccola scintilla. È anzi fondata sopra questa maniera lenta di scaricarla, una graziosa esperienza che suol ripetersi nei corsi. Consiste nel porre una boccia di Leida caricata, sopra un piano di legno sostenuto da quattro piedi di vetro (*Tav.* I, *Fig.* 18), sul quale s'innalza una colonna metallica che comunica coll'armatura esterna della bottiglia, e termina allo stesso livello della verga della armatura interna. Tanto questa verga, quanto la colonna metallica portano alla stessa altezza una callotta di bronzo. Una pallina metallica sospesa ad un filo di seta vien posta in mezzo a queste due callotte cariche delle elettricità contrarie delle due armature. Essa è tosto costretta ad oscillare fra le medesime; ed urtando successivamente l'una e l'altra produce uno scampanio che dura più o meno lungamente a seconda della carica della boccia e della siccità dell'aria. Infine si può scaricare lentamente la bottiglia di Leida anche in un'altra maniera, vale a dire munendo l'arco scaricatore di due punte, ed accostando le medesime alle due armature. Questa scarica avviene senza scintilla ed in silenzio; e solo operando al bujo vedesi la traccia luminosa dell'elettricità nel suo passaggio dalle punte.

Allorquando si abbandona a sè stessa sopra un buon isolatore una bottiglia di Leida fornita di elettrometro, si osserva che la medesima mostra dopo breve tempo di scaricarsi anche quando l'aria è molto asciutta, conciossiachè il suo elettrometro non dà più indizio di tensione. Ma se accostiamo lo scaricatore alle sue armature, la forte scarica che se ne ottiene ci persuade che l'elettricità non si era dissipata che apparentemente. Inoltre se dopo l'ottenuta scarica riponiamo rapidamente la bottiglia sull'isolatore vediamo che lo elettrometro dà nuovi indizj di tensione, segno manifesto che la boccia non si è del tutto scaricata. Ed infatti riaccostando lo scaricatore alle sue armature, se ne ottiene una seconda sca-

rica, ma invero assai più piccola della precedente. Spesso avviene che se ne possa trarre anche una terza ed una quarta; ed in generale si osserva che non si riesce mai a scaricare tutto in una volta un coibente armato, e che le grandi bottiglie richiedono anche molti successivi contatti dello scaricatore. Questi fenomeni, detti di *occultamento delle cariche*, dipendono da ciò che nei coibenti armati le cariche non si accumulano soltanto sulle armature, ma si spandono e s' internano anche nella grossezza del coibente senza riunirsi, ed anzi ivi specialmente si accumulano. L'esperienza diretta lo dimostra nel modo il più evidente. Si abbia una bottiglia di Leida (*Tav.* I, *Fig.* 19), di cui le armature *a* e *c* sieno mobili e facili a separarsi dal coibente. Si carichi fortemente colla macchina elettrica, quindi si ponga sopra un desco isolatore di resina, e colla mano si tolga l'armatura interna della bottiglia e quindi l'esterna, e si pongano le due armature fra loro a contatto, ovvero a contatto col suolo. È chiaro che in questa guisa operando, se le cariche elettriche fossero rimaste sulle armature, le avremmo certamente ricondotte allo stato naturale. Tuttavia se ricomponiamo la bottiglia, riponendo in sito le sue armature, ed accostiamo alle medesime i rami dello scaricatore, ne otteniamo una grossa scintilla. È dunque manifesto che le due elettricità dissimulate, obbedendo alla reciproca loro attrazione, abbandonano in gran parte le armature per portarsi sulle due facce del vetro. Perciò l'ufficio delle armature si è principalmente quello di servire a caricare il coibente; giacchè è evidente che senza di esse non potrebbe accumularsi la minima carica elettrica sopra le due facce di una bottiglia di vetro, essendoci noto che l'elettricità non si propaga sui coibenti che a piccola distanza dal punto toccato. È del pari manifesto che senza le armature non potrebbe ottenersi la scarica.

V'ha anche un altro istrumento, fondato sui principj dell'elettricità dissimulata, ed è questo *l'elettroforo* immaginato dal Volta. Consiste in un piatto metallico circolare fornito di un orlo, e contenente un disco resinoso formato ordinariamente di tre parti di trementina, due di pece greca, ed una di cera. Esso forma il pezzo inferiore dell'istrumento, e dicesi *mastice* o

stiacciata. Il pezzo superiore consiste in un disco metallico, di un diametro un poco minore di quello del mastice, e fornito di un manico isolatore di vetro verniciato. Esso ha il nome di *scudo.* Si elettrizza quest'apparecchio strofinando il mastice con un pezzo di flanella o percuotendolo con una coda di volpe o una pelle di gatto, avendo cura che il piatto sia in comunicazione col suolo. La carica che in questa guisa acquista il mastice è di elettricità negativa. Posandovi sopra lo scudo per mezzo del suo manico coibente, facendo quindi comunicare lo scudo stesso con l'orlo del piatto inferiore, mediante due dita, e quindi sollevando lo scudo, si trova questo carico di elettricità positiva. Si può ripetere molte volte questa operazione, e sempre collo stesso resultato. Lasciando lo scudo applicato sopra il mastice, l'apparecchio conserva lungo tempo la sua carica, ed è appunto per questo che Volta gli diè il nome di elettroforo. Questa persistenza della carica dipende principalmente dallo stato di dissimulazione in cui trovansi l'elettricità del mastice e quella sviluppatasi per influenza ed accumulatasi nella parte più prossima dello scudo.

Scarica elettrica. Sua propagazione. Quando un corpo più o meno carico di elettricità ritorna repentinamente allo stato naturale, avviene ciò che dicesi una *scarica elettrica.* Nell'ipotesi di Symmer la scarica dipende dalla riunione delle due contrarie elettricità; in quella di Franklin il corpo elettrizzato positivamente cede l'eccesso del fluido al corpo che ne difetta, sicchè ambedue riprendono lo stato naturale. Comunque si voglia considerare prodotta, la scarica elettrica è sempre preceduta dallo svolgimento de' due contrarj stati elettrici, nei corpi fra i quali essa avviene. Allorquando accostiamo un dito o un corpo conduttore qualunque al conduttore della macchina elettrica, sebbene nel vederne scoccare la scintilla ci sembri che sia la sua elettricità che si scarichi su di essi, nondimeno la scarica avviene fra l'elettricità della macchina e quella svoltasi per influenza sui corpi che le abbiamo avvicinati.

La scarica elettrica si annunzia con fenomeni rimarchevolissimi, i quali stanno a indicare un'alterazione più o meno considerevole nello stato dei corpi attraverso cui si

opera. Quando traversa l'aria svolge luce e calore producendo il fenomeno della scintilla; quando traversa dei fili metallici li riscalda; quando passa per le membra di un animale vi eccita delle contrazioni muscolari. Tutti questi effetti produconsi nel medesimo istante nei varj punti del corpo percorso, il che manifesta una somma rapidità di propagazione.

Questa velocità non è però sempre la stessa nei varj corpi pei quali avviene la propagazione, ma dipende dalla loro conducibilità. Se per iscaricare una bottiglia di Leida ci serviamo di varj archi della stessa lunghezza, ma di sostanze diverse, come ottone, legno, carbone, panno inzuppato di acqua ec. ec., ci occorreranno tempi diversi per produrre la scarica totale della bottiglia; e mentre coll'arco metallico ciò avverrà istantaneamente, cogli altri farà d'uopo impiegare un intervallo di tempo più o meno apprezzabile.

Si era ammesso che nei corpi buoni conduttori la scarica si propagasse con una velocità infinita; ed in vero parea ciò potersi dedurre dalle esperienze del Dottor Walson. Questo fisico, avendo preso un filo di ferro ripiegato in varj giri e della lunghezza di 11519 piedi francesi, ne avea fatto comunicare un capo coll'armatura esterna di una boccia di Leida, mentre l'altro capo potea farsi comunicare a volontà coll'armatura interna. Nel mezzo della sua lunghezza era il filo interrotto, e i due capi della interruzione erano tenuti uno per ciascuna mano da una persona posta nella stessa stanza in cui si scaricava la boccia. Ogni qual volta si produsse la scarica non fu mai possibile scorgere alcuna sensibile differenza di tempo fra l'istante in cui si vedeva scoccare la scintilla e quello della scossa; laonde convenne conchiudere che il movimento elettrico costituente la scarica si propagava per un filo metallico lungo 11519 piedi in un intervallo di tempo non apprezzabile dai sensi. Wheatstone peraltro con una ingegnosa esperienza dimostrò in seguito che la velocità della scarica non è infinita, e che sebbene sia oltremodo grande pure è valutabile. Egli prese un filo di rame di mezzo miglio di lunghezza e di $\frac{1}{15}$ di pollice di diametro, e lo dispose bene isolato in tante linee parallele; situò poi sopra una stessa linea verticale sei palline metalliche isolate, distanti $\frac{1}{4}$ di pollice

l'una dall'altra (*Tav.* I, *Fig.* 20). Le palline *a' c* comunicavano co' capi estremi del filo, il quale nel mezzo era interrotto dalle palline *b* e *b'* cui le due metà del filo si congiungevano, ed in fine le palline *a* e *c'* comunicavano respettivamente colle due armature di una boccia di Leida, la quale ricevendo continuamente elettricità si scaricava attraverso del lungo filo, mostrando tre scintille nella stessa linea, due delle quali prossime alle armature e corrispondenti agli estremi del medesimo, ed una tra *b* e *b'* nel mezzo. Le immagini delle tre scintille erano riflesse da uno specchio di acciajo a due facce come quello indicato dalla figura 21, Tav. I, mobile intorno ad un asse verticale parallelo ai due piani riflettenti e fissato nel mezzo della grossezza dello specchio. Un meccanismo conveniente imprimeva allo specchio un rapido movimento di rotazione, e permetteva di contare il numero delle rivoluzioni che compieva in un dato tempo. Le immagini delle tre scintille osservate sullo specchio durante la sua rotazione, invece di essere tre punti luminosi, consistevano in tre lineette luminose, le quali allorchè lo specchio ruotava verso la sua diritta assumevano la disposizione ═══, mentre quando ruotava a sinistra prendevano l'altra disposizione ═══, il che dimostra che le scintille estreme erano contemporanee, e quella di mezzo balenava un poco più tardi. Se l'elettrico si dovesse considerare come un fluido che passa da un'armatura all'altra, le immagini avrebbero dovuto presentare una di queste apparenze ═══, o pure ═══. Sembra a prima vista che questo resultato sia favorevole alla dottrina de'due fluidi; ma in vero esso può spiegarsi anche nell' ipotesi di una sola elettricità, perocchè per entrambi le azioni debbono cominciare dagli estremi e propagarsi verso il mezzo del circuito. Dalla differenza angolare delle tre immagini il fisico inglese concluse che la velocità dell'elettrico è di 250mila miglia inglesi per secondo, cioè superiore a quella della luce, di modo che se quel filo metallico avesse circondato la terra secondo l'equatore sarebbe stato percorso in $\frac{1}{10}$ di minuto secondo.

Se nello esperimento di Wheatstone, ad un filo di rame si sostituisce un filo di ferro o di platino, che sono assai peggiori conduttori del rame, la scintilla di mezzo sarà anche più ri-

tardata. Un tubo di vetro pieno di acqua la ritarderebbe anche più; e così proseguendo, questo ritardo si farebbe sempre maggiore usando per conduttori della scarica corpi viepiù coibenti. Le proprietà di condurre e d'isolare dei corpi, sono adunque in realtà una sola proprietà posseduta in diverso grado dai corpi; perchè è ragionevole ammettere che in tutti il ritardo della scintilla all' interruzione posta alla metà dell'arco, provenga dalla stessa causa, vale a dire dalla *resistenza* più o meno grande offerta al passaggio della scarica dai varj corpi da questa attraversati.

Effetti della scarica elettrica. Gli effetti del passaggio istantaneo dell'elettricità attraverso i corpi, possono distinguersi in fisici, meccanici, chimici e fisiologici.

Per far passare la scarica di una batteria attraverso un corpo qualunque si fa uso di un apparecchio, conosciuto col nome di *Scaricatore universale.* Esso componesi di due verghe metalliche $a\,b$ ed $a'\,b'$ (*Tav.* I, *Fig.* 22) montate a cerniera sopra le colonne isolanti $c\,d$ e $c'\,d'$; scorrono con sfregamento, queste verghe entro due anelli, in guisa che le loro estremità possono più o meno allontanarsi fra loro e prendere tutte le possibili inclinazioni. Nel mezzo v'ha un sostegno $m\,n$ che può fissarsi a diverse altezze, ed è destinato a ricevere i corpi attraverso ai quali si fa passare la scarica. Le estremità lontane delle due verghe sono terminate ciascuna da un anello, ed è per mezzo di questi anelli che si stabiliscono le comunicazioni colla batteria; le altre due estremità prossime $a'\,b$ sono terminate da due palline che possono togliersi, perchè fissate a vite, ed allora mettono allo scoperto due punte assai aguzze, che formano le estremità delle verghe.

Tra gli *effetti fisici* della scarica, il più generale si è quello del *riscaldamento* che fa subire ai corpi che traversa. Se si fa passare la scarica per un filo metallico posto entro la bolla di un termoscopio, l'indice di questo strumento vien posto in movimento e può anche darci la misura del riscaldamento prodotto. Facendo passare una data scarica elettrica attraverso a fili metallici di natura e dimensioni diverse, si osserva che il riscaldamento cresce proporzionalmente alla resistenza che incontra l'elettricità a propagarsi. Perciò assottigliando il filo

metallico scaricatore, allungandolo, sceglieodolo di quella sostanza metallica che più difficilmente conduce l'elettricità, si avrà il maggiore svolgimento di calore.

In conseguenza del riscaldamento prodotto dalla scarica elettrica sui varj metalli succedono dei fenomeni dipendenti dalla proprietà che hanno i varj fili metallici fortemente riscaldati di fondersi, di volatizzarsi e di bruciare. Un filo di ferro attraversato dalla scarica di una batteria diviene incandescente, brucia e si disperde in un' infinità di piccoli grani allo stato di ossido. I fili d'argento, di stagno, di zinco sono pure fusi o volatizzati. Una foglia d'oro battuto, stretta tra due lastre di vetro e attraversata dalla scarica di una batteria si converte in una polvere violacea, la quale spargesi in tutti i versi, e che altro non è che oro estremamente diviso. Si può anzi applicare questa esperienza a disegnare un' immagine violetta sulla seta. A quest'uopo s'intaglia l' immagine in una carta che si posa sopra un pezzo di seta bianca, e sopra la carta si distende la foglia d'oro. Si stringe questo insieme fra due lastre di vetro entro un morsetto di legno, e si fa passare la scarica attraverso la foglia d'oro; dopo di che si trova l'immagine disegnata sulla seta in violetto dall'oro estremamente diviso che è stato trasportato dalla scarica.

Questi fenomeni di fusione, volatilizzazione e fors'anco di ossidazione, possono in parte servire a spiegárci le macchie singolari che si formano sulle lamine metalliche attraverso di cui si opera una scarica, quando s' interpongono alle punte dello scaricatore universale. Queste macchie sono anelli circolari, aventi per centro comune le punte dello scaricatore, e si estendono successivamente a misura che si ripetono le scariche. Quelli del mezzo sono formati di punti lucenti e di piccole cavità indicanti una fusione superficiale; gli altri sono di una polvere nera poco aderente. Adoprando una lastra d'argento, le macchie sono formate da una polvere scura, che sembra consistere in ossido d'argento. Gli anelli sopra descritti, per essere stati particolarmente osservati dal Priestly, hanno ricevuto il nome di *anelli di Priestly*.

I fenomeni di riscaldamento pel passaggio della scarica si producono anche sopra sostanze non metalliche. Così essa è

capace di accendere l'etere, l'alcool e la polvere da sparo, di agglomerare, fondere e vetrificare della sabbia silicea. Le così dette *pietre del fulmine*, sembra che sieno prodotte dalla fusione dalle materie selciose su cui il fulmine si scarica; e difatto Savart operando con grandi batterie, ha ottenuto artificialmente dei tubi fulminei analoghi a quelli naturali.

Nel suo passaggio attraverso i liquidi, la scarica li riscalda, li dilata e li riduce repentinamente in vapore. Un tubo di vetro pieno di liquido ed esattamente chiuso, si rompe in mille pezzi nell'istante in cui è traversato dalla scarica. Beccaria immaginò un piccolo mortajo di avorio fornito di una cavità entro cui si mette una pallina di legno. Si fa passare la scarica nel fondo di esso per mezzo di fili metallici convenientemente disposti, dopo avervi versato qualche goccia d'acqua o di alcool. La pallina viene così lanciata a grande distanza dalla espansione de' vapori che si formano.

Anche l'aria è dilatata dal passaggio della scarica. Può ciò facilmente dimostrarsi coll'apparecchio di Kinnersley. Questo consiste in un forte cilindro di vetro (*Tav.* I, *Fig.* 23), congiunto alle due estremità per mezzo di mastice con due ghiere di ottone che lo chiudono esattamente, e sostengono due conduttori terminati da una sfera, uno dei quali è fisso, mentre l'altro scorre a volontà entro una ghiera a sfregamento. Dalla base dell'apparato diramasi un secondo tubo laterale, aperto superiormente. Nell'interno v'ha uno strato di acqua che si dispone alla stessa altezza anche nel tubo laterale, ed il cui livello è alquanto al disotto della sfera inferiore. Quando si fa passare la scarica di una bottiglia di Leida fra le due sfere, l'acqua istantaneamente respinta fuori del tubo più ampio s'innalza nel più piccolo di circa due centimetri; il quale effetto, evidentemente non è cagionato dal solo innalzamento di temperatura, ma piuttosto dalla rapida compressione che subisce l'aria nel passaggio della scarica; perocchè se dipendesse dal riscaldamento, il fenomeno non sarebbe istantaneo.

La scarica è pure capace di *effetti meccanici* considerevoli. Facendo passare la scarica di una batteria attraverso un cartone, si giunge a forarlo; e se la batteria è potente si può anche forare un grosso libro. Questo fatto ci manifesta

che l'elettricità nel suo passaggio attraverso certi corpi ne trasporta via una porzione di materia; e questo trasporto si opera con tale velocità che se nell'esperimento citato si tiene il cartone sospeso ad un filo, il traforamento avviene senza che il medesimo concepisca alcun movimento. L'apparecchio più adattato per questa esperienza è quello rappresentato dalla Figura 24, Tav. I. Il cartone si colloca fra le due punte metalliche *p* e *p'* isolate l'una dall'altra. Servendosi di questo apparato si possono osservare delle importanti circostanze relative al fenomeno in discorso. Se la carica non è molto forte, e se le due punte non sono di contro, il foro che si ottiene sulla carta è sempre a contatto della punta comunicante coll'armatura negativa. Se operasi nell'aria rarefatta, si vede che il foro si avvicina tanto più alla punta positiva quanto meno densa è l'aria. Se la carica è fortissima, e si opera nel vuoto della macchina pneumatica tenendo le punte distanti fra loro di alcuni centimetri, invece di un sol foro se ne formano varj nell'intervallo fra le due punte. Dei quali fenomeni non si sa dare una conveniente spiegazione. Quando si fa passare la scarica attraverso una sottil foglia di stagno, si formano due fori, i quali per la disposizione dei loro contorni appariscono prodotti da forze dirette l'una contro l'altra; ma quello corrispondente alla carica positiva è sempre il maggiore. Questa maggior forza di projezione che presenta generalmente la punta positiva può anche direttamente mostrarsi colla seguente esperienza. Si pone una pallina di legno o di midolla di sambuco in un canaletto fatto con due cannelli di ceralacca posti a contatto, e si dispone fra le due punte di uno scaricatore, tenute assai distanti fra loro. Nell'istante della scarica si vede sempre la pallina spinta verso la punta negativa.

La scarica quando è molto forte si apre una via anche attraverso alle materie coibenti; ed infatti per mezzo di una forte batteria si giunge a traforare anche un vetro. Si eseguisce questo esperimento per mezzo di un apparato, consistente in due colonne di vetro, che sostengono, mediante una traversa orizzontale, un conduttore *B* terminato in punta (*Tav.* I, *Fig.* 25). La lastra di vetro *A* che vuolsi traforare si appoggia sopra un cilindro isolante di vetro vuoto, contenente pure una punta

metallica, che s'innalza quasi fino al contatto della lastra. Si dispone l'altra punta in faccia a questa e si fa passare la scarica. Per facilitare il traforamento della lastra si pone a contatto della punta superiore una goccia di liquido conduttore, come per esempio di olio. Se si fa passare la scarica della batteria nell'interno di un legno, di un pezzo d'argilla o di zucchero, di una pietra qualunque, accade sempre, quando la carica è molto forte, che questi corpi s'infrangono.

Tutti questi effetti meccanici da noi descritti sono stati da molti considerati come la conseguenza dello sviluppo del calore che avviene nei corpi traversati dalla scarica, il quale darebbe luogo ad improvvise dilatazioni e ad istantanei svolgimenti di vapori o di gas. Ma in molti casi, tali effetti sono tanto grandiosi, che è impossibile ammettere che abbiano origine da questa sola cagione. Nelle scariche elettriche naturali, si sono talvolta veduti effetti di trasporto così maravigliosi da non potersi spiegare colla produzione di vapori o di altri fluidi elastici operata dalla scarica. Il fulmine cadendo su certi edifizj ne ha non di rado trasportati enormi pezzi di materiale a ragguardevoli distanze.

In quanto agli *effetti chimici* della scarica, si osserva, che fatta passare attraverso l'acqua una serie di piccole scariche successive, le quali si seguano ad intervalli brevissimi di tempo, l'acqua ne è decomposta ne'suoi elementi. Una simile decomposizione si osserva in una soluzione di solfato di rame; nella quale dopo un lungo passaggio di piccole scariche successive, si trova del rame ripristinato. Faraday ha insegnato un mezzo facile di render sensibile la decomposizione di una soluzione salina neutra per mezzo del passaggio di una serie di scariche. Si dispone sopra un foglio di carta colorita colla laccamuffa un certo numero di losanghe di stagnola (*Tav.* I, *Fig.* 26) in modo che tutte le loro punte aguzze trovinsi sulla stessa linea e distanti pochi millimetri l'una dall'altra. Si bagna la carta colla indicata soluzione salina; quindi munito il conduttore della macchina elettrica di una punta metallica, vi si accosta la punta della prima losanga del foglio di carta e si fa agire la macchina. Dopo un certo tempo si vede la carta di laccamuffa farsi rossa sotto la punta della macchina,

e sotto le altre punte delle losanghe che sono all'estremità opposta alla punta metallica della medesima.

L'azione chimica della scarica si osserva eziandio sui corpi allo stato solido. Un filo di ottone è decomposto dal passaggio della scarica nei due metalli, rame e zinco, da cui è formato, i quali vengono separati allo stato di ossido. L'ossido di stagno è pure decomposto e ridotto in parte allo stato metallico, come anche il solfuro di mercurio.

Gli *effetti fisiologici* della scarica son quelli che essa esercita sugli esseri viventi. Poche esperienze sono state tentate intorno agli effetti della scarica sulle piante: molte invece sono quelle fatte sugli animali. Gli animali viventi traversati dalla scarica, provano nelle loro membra una commozione più o meno violenta, una specie di urto più o meno doloroso, il quale si estende tanto maggiormente nel loro corpo quanto è maggiore la carica elettrica che li traversa. Questo fenomeno si conosce volgarmente col nome di *scossa*. Quando accostiamo un dito alla macchina elettrica, e ne abbiamo una scintilla, la scarica si opera in noi; ma allora la quantità dell'elettricismo è così piccola che non produce la scossa. La scintilla non produce che una puntura limitata al punto su cui scocca, e non molto viva. La scossa si ottiene per mezzo della bottiglia di Leida e della batteria. Allorquando tenendo con una mano la bottiglia nella sua parte coperta dall'armatura esterna, coll'altra mano tocchiamo il bottone dell'armatura interna, la commozione che risentiamo è più o meno estesa, a seconda della carica. Se questa è piccola, essa non estendesi al di là delle dita o del gomito, ma se è assai forte produce dolore al petto, e si estende anche alle estremità inferiori. I punti del corpo che più risentono la scossa sono le articolazioni delle membra, e ciò forse a motivo della diminuzione in quei punti della massa muscolare la quale ben conduce la scarica, e l'accrescimento invece delle parti ossee e tendinose, le quali malamente conducono, cosicchè ivi una maggior quantità di elettrico è costretta a traversare i filamenti nervosi.

Quando si fa passare la scarica di una o di più bottiglie attraverso varie persone che si tengono per la mano, formando

ciò che dicesi una *catena*, la scossa è maggiormente risentita dagl' individui situati alle estremità, ed assai poco da quelli del mezzo, specialmente se la catena è numerosa. Ciò proviene dallo scaricarsi di una porzione della elettricità nel suolo; ed infatti se l'esperienza vien ripetuta mentre tutti stanno sopra un piano isolante, la scossa è risentita da ognuno colla stessa intensità.

Se la superficie del corpo umano o dell'animale che si sottopone alla scarica è resa conduttrice da uno strato di umidità, i suoi effetti sono grandemente indeboliti. Così Franklin racconta di non essere mai riuscito ad uccidere un sorcio bagnato, quantunque sottoposto a potentissime scariche.

La forte commozione che produce la scarica nell'organismo animale è capace di portare la morte. Per uccidere piccoli animali, come uccelletti, non fa d'uopo di forti scariche; molto considerevoli però debbono essere quelle atte ad uccidere animali di grosse dimensioni. La causa della morte pare risieda nell'azione che spiega l'elettrico sull'agente del sistema nervoso e che tende a indebolire. Spesso i cadaveri degli animali uccisi da una forte scarica elettrica non presentano alcuna traccia di lesione organica a cui potere attribuire la morte avvenuta; invece si osserva che se si fa passare una serie di piccole scariche elettriche sulla colonna vertebrale di un animale assai sensibile all'elettrico, quale si è la ranocchia, il medesimo prima di perire va soggetto ad uno stato convulsivo violento, simile al tetano, il quale denota una viva azione sull'agente nervoso.

Ma ciò che è forse il più singolare tra gli effetti fisiologici della scarica, si è la sua azione sul sistema muscolare degli animali anche dopo la morte. Se si uccide una rana, si spella, e si pongono a nudo i suoi muscoli, quindi si sottopone alla scarica, vedonsi le sue membra contrarsi come se fosse ancora vivente. Vero è però che tale avanzo di eccitabilità nel sistema muscolare mediante l'elettrico è solo di breve durata e non persiste che per poche ore.

Fenomeni luminosi dell'elettricità. Le più grandi cariche accumulate sui corpi, sia direttamente, sia per influenza e dissimulazione, non danno mai alcuna apparenza luminosa quando l'equilibrio è stabilito ed il fluido è in riposo. Perciò

la prima condizione per la produzione della luce elettrica si è il moto del fluido elettrico o la rottura del suo equilibrio; ma questa non è la sola condizione; bisogna di più che la tensione che ha determinato il movimento del fluido abbia un' intensità sufficiente. Così l'elettricità di una macchina ordinaria non dà luce sensibile quando fluisce nel suolo per mezzo di un filo metallico; mentre una macchina molto potente può circondare di un'aureola molto lucente un lungo filo di ferro comunicante col suolo nel modo più perfetto.

Ogni qual volta l'aria o un altro corpo cattivo conduttore è interposto fra due corpi carichi di elettricità contrarie, la scarica avviene tra di essi con svolgimento di calore e di luce, e con strepito: si ottiene così la *scintilla*. Onde il fenomeno della scintilla si produca è necessario che la tensione delle due cariche contrarie superi il limite della resistenza che il corpo coibente oppone alla scarica. Questo limite varia colle quantità di elettricità che tendono a riunirsi, colla distanza alla quale queste cariche si trovano, ed anche colla densità e natura del mezzo coibente interposto. Esso è la misura del potere isolante che conserva disgiunte due cariche elettriche prossime.

Dicesi *distanza esplosiva*, quella a cui avviene la scarica. Ora dalle esperienze di Volta resulta che *questa distanza cresce in ragione diretta semplice delle quantità di elettricità*, ed è indipendente dalla capacità dei conduttori da cui scocca la scintilla e dalla natura dell'arco scaricatore. Questa legge può determinarsi collo *spinterometro*, il quale istrumento consiste in un cilindro di vetro di una certa lunghezza, terminato da due ghiere metalliche, da una delle quali s' innalza nell' interno del cilindro un'asta metallica terminata in una palla metallica; e nell'altra scorre un'asta simile, la cui palla può avvicinarsi più o meno alla precedente. Si pone la prima asta in comunicazione colla macchina elettrica, l'altra in comunicazione col suolo. Facendo agire la macchina si veggono scoccare delle scintille fra le due palle. Variando la distanza fra di esse, e misurandola mediante un'asta graduata fissa sul cilindro, si vede per mezzo dell'elettrometro di Henly, che le tensioni a cui giunge la macchina prima di produrle sono

proporzionate alle distanze esplosive. Questa legge non si verifica più, se i due conduttori fra cui avviene la scarica non sono terminati da due palle sferiche e di eguali dimensioni, Variando le forme e le dimensioni delle estremità dei conduttori, le distanze esplosive non si conservano più proporzionali alle cariche.

Harris ha determinato la legge del rapporto fra la distanza esplosiva e la densità dell'aria o del gas attraverso del quale scocca la scintilla. Questa legge è, che *per una stessa quantità di elettricità le distanze esplosive e le densità dell'aria sono inversamente proporzionali.* A misura che la densità dell'aria diminuisce addiviene sempre maggiore la distanza a cui scocca la scintilla. Può ciò verificarsi rarefacendo successivamente l'aria nell' interno del cilindro dello spinterometro. A quest'oggetto, una delle sue ghiere è fornita di un tubo, che può avvitarsi sulla macchina pneumatica, e mediante un canaletto l' interno dell'apparecchio comunica con essa. Quando l'aria v'è assai rarefatta si veggono le scintille scoccare a una grande distanza. Si può fare il vuoto in un tubo lungo tre o quattro piedi, ed elettrizzare una delle sue ghiere di ottone, tenendo l'altra colle mani. Allora, operando all'oscuro, si vede ad ogni scintilla che salta lampeggiare il tubo da un'estremità all'altra.

Queste esperienze hanno condotto a studiare il modo di agire dell'elettricità nel vuoto assoluto. Le osservazioni le più accurate istituite nella camera barometrica hanno dimostrato che il vuoto perfetto non conduce l'elettricità. Ma acciocchè questo fatto si renda evidente egli è necessario che la camera barometrica sia resa affatto scevra di vapori, i quali quantunque scarsi possono servire a condurre l'elettricità. Anzi negli ordinarj barometri ciò avviene sempre, ond'è che la camera loro vedesi lampeggiare nell'oscurità, quando si fa in essi salire e scendere replicatamente la colonna mercuriale, a motivo dell'elettricità che si sviluppa nella confricazione del mercurio contro le pareti del tubo. Costruendo un doppio barometro come quello indicato dalla Fig. 27, Tav. I, e mediante i due pozzetti facendo passare la scarica da una colonna all'altra del medesimo, si vede tutto lo spazio arcuato risplendere di viva

luce. Se però si sottopongono le due colonne del mercurio ad una bassa temperatura; se invece di mercurio si usa qualche metallo fuso che non produca vapori, infine se si prendono le maggiori precauzioni, affinchè il vuoto del medesimo sia il più perfetto possibile, si vede che l'elettricità si diffonde sempre più difficilmente, ed il fenomeno luminoso si fa viepiù debole. Inoltre Becquerel ha provato che nel vuoto di una buona macchina pneumatica, alla pressione di un millimetro un corpo elettrizzato conserva indefinitamente una certa tensione elettrica. Così accade ad un elettroscopio, di cui si vede conservare la divergenza delle pagliuzze; ma se però gli si accosta un'asta metallica, quella tosto diminuisce, per ritornare allontanando l'asta; il qual fatto è importantissimo, stando a provare che mentre il vuoto non è conduttore dell'elettrico, possono non di meno attraverso di esso prodursi i fenomeni dell'influenza.

La luce della scintilla elettrica è tanto più viva, quanto più grande è la quantità dell'elettricità che si scarica. Il suo colore varia a seconda del mezzo gassoso in cui si produce. Nell'aria ha un color giallo splendente, nell'azoto è porporina o blù, nell'idrogeno di un bel cremisi, nell'ossigeno bianca, nell'aria rarefatta violacea. S'ignora la causa di queste differenze.

La scintilla varia anche di colore al variare della natura dei conduttori da cui scocca. Così, le scintille che si traggono da un conduttore di ottone inargentato sono di un bel verde; quelle che scoccano da una palla di avorio o di legno sono rosse. Ciò dipende sicuramente da porzione di materia trasportata e volatilizzata. Fusinieri ha provato che la scintilla prodotta da una forte scarica porta seco un poco di argento se scocca da un cilindro di argento, ed un poco di rame se parte da un conduttore di rame. Il corpo su cui la scintilla si scarica mostra le tracce del metallo trasportato. Fatta passare la scintilla fra due globi di metalli diversi, come d'argento e di rame, si trova una macchia di rame deposta sull'argento e reciprocamente.

In quanto alla forma della scintilla è facile osservare, che allorquando essa è corta, la sua traccia luminosa è rettilinea;

mentre quando la sua lunghezza supera un pollice, prende presso a poco la forma a zig-zag, che caratterizza il fulmine. La sua durata è brevissima, ed è stata determinata dalle ingegnose esperienze di Wheatstone. Egli adoprava a quest'uopo il solito specchio rappresentato nella Figura 21, ruotante intorno ad un asse verticale, che disponeva in faccia a due palle *A* e *B* (*Tav.* I, *Fig.* 28) situate verticalmente una al di sopra dell'altra, fra cui faceva scoccare la scintilla d'una macchina elettrica. È chiaro che se il punto luminoso situato dinanzi allo specchio ruotante fosse immobile, l'immagine del medesimo si trasformerebbe in una circonferenza luminosa, quando la velocità di rotazione fosse sufficiente. Ma se il punto luminoso si muoverà durante la rapida rotazione dello specchio parallelamente all'asse del medesimo, come appunto avviene nel caso della scintilla elettrica nell'apparecchio di Wheatstone, la composizione de' due moti dell'immagine, derivanti dal moto del punto lucido e da quello dello specchio, dovrà far nascere una resultante diagonale, la cui inclinazione dipenderà dal rapporto della durata della scintilla colla velocità di rotazione dello specchio, cosicchè quest'ultima velocità essendo nota potrà dedursi la prima. Adunque l'immagine della scintilla non sarà più la linea *c' d*, ma sarà ingrossata ed obliqua come *c E E' c'*. Se però la durata della scintilla sarà tanto breve da non potersi stabilire il rapporto fra di essa e la velocità di rotazione dello specchio, l'immagine della scintilla sarà diritta qual si vedrebbe se lo specchio non ruotasse. Wheatstone, avendo portato la velocità dello specchio fino ad 800 giri per secondo, avea mezzo d'accorgersi della durata di un solo $\frac{1}{1152000}$ di secondo. Malgrado di questa velocità dello specchio, egli non vide alcuna obliquità nella immagine di una scintilla lunga quattro pollici, che faceva scoccare dinanzi allo specchio; cosicchè la sua durata era minore di quella piccolissima frazione di secondo. Potè così calcolare che la velocità della scintilla che scocca direttamente dalla macchina elettrica supera quella di 60 miglia italiane al secondo.

Vi sono anche altri modi per dimostrare l'immensa rapidità della scintilla elettrica. Ognun sa che se si dispone un carbone acceso sopra la periferia di un disco, che si faccia

ruotare con una certa rapidità, invece di scorgere un sol punto luminoso, si vede una circonferenza luminosa. L'esperienza ha mostrato che ciò avviene tutte le volte che il carbone acceso fa un intiero giro almeno in $\frac{1}{10}$ di secondo; il che mostra che la sensazione luminosa persiste nell'occhio per quell' intervallo di tempo. Ora è evidente che se invece di un sol carbone acceso se ne disponessero sulla periferia della ruota, due, quattro, dieci, cento, tutti ad egual distanza tra loro, basterebbe a produrre la circonferenza luminosa una velocità di rotazione che fosse $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$ della velocità primitiva. Con due carboni basterebbe che la velocità fosse di $\frac{1}{10}$ di secondo per mezzo giro; con dieci che fosse di $\frac{1}{10}$ di secondo per $\frac{1}{10}$ di giro e così di seguito. Se invece di un oggetto luminoso per sè stesso, come il carbone acceso, sarà posto sulla ruota un oggetto luminoso per riflessione, il fenomeno si riprodurrà nella stessa guisa. Così immaginiamo una ruota a fondo nero, sulla quale sieno disposti a guisa di raggi tante strisce di carta inargentata. È chiaro che fatta girare con una certa rapidità dinanzi ad una candela accesa, apparirà tutta splendente come se fosse intieramente coperta di argento. Se una sola fosse la striscia lucente applicata sulla ruota, basterebbe alla produzione del fenomeno che la ruota facesse un giro ad ogni $\frac{1}{10}$ di secondo; se le strisce fossero cento basterebbe una velocità di dieci secondi. Ma immaginiamo che la ruota abbia cento strisce, e faccia una intiera rivoluzione in $\frac{1}{10}$ di secondo: è chiaro che ogni striscia impiegherà la centesima parte di $\frac{1}{10}$ di secondo per passare da una qualunque delle sue posizioni, alla posizione della striscia seguente. Se in tali circostanze, la ruota, invece di essere illuminata da una luce continua, lo sarà invece da una luce di breve durata; è chiaro che se la durata di questa sarà eguale o maggiore di $\frac{1}{1000}$ di secondo, la ruota apparirà all' osservatore tutta splendente, come se fosse illuminata da una luce continua; ma se invece sarà minore di quel brevissimo intervallo di tempo, la luce non colpirà le strisce che in una sola delle loro posizioni; cosicchè apparirà all'occhio come se fosse immobile. Ora illuminando la ruota anzidetta con una scintilla elettrica, essa

apparisce come se fosse perfettamente in riposo; e ciò avviene anche quando si dà alla ruota una velocità assai maggiore di quella supposta, e si dispongono sulla sua superficie un numero assai maggiore di strisce risplendenti. Così operando Wheatstone si assicurò che la durata della scintilla della macchina era minore di $\frac{1}{115200}$ di secondo. Egli è a motivo di questa immensa velocità, che allorquando s'illumina con una scintilla elettrica la parte torbida di una vena liquida, se ne veggono distintamente le goccie disgiunte che la formano, le quali ad una luce durevole sembrano formare un filo continuo.

Sull'istantaneità della scintilla elettrica e la rapidità della propagazione dell'elettrico, sono stati costruiti diversi apparecchi, atti a produrre varie apparenze luminose più o meno belle. Tali sono *i tubi e i quadri scintillanti*, ec. ec. I primi sono lunghi tubi di vetro, su cui sono state incollate tante piccole losanghe di stagnola, situate l'una dietro l'altra, e colle punte a piccola distanza fra loro. La scintilla scocca nel medesimo istante fra tutte queste losanghe, ed il tubo apparisce illuminato in tutta la sua lunghezza. I quadri scintillanti sono costruiti in un modo analogo, ma in guisa che la scintilla scoccando fra tutti i pezzetti metallici del quadro, produca un bel disegno. Con dei piccoli grani metallici infilati nella seta, e tenuti con dei nodi ad una piccola distanza fra loro, possono formarsi catene, ghirlande, o disegni, che fatti comunicare colla macchina elettrica, risplendono superbamente nell'oscurità ad ogni scintilla che scocca.

L'elettricità mostra apparenze luminose anche quando esce dalle punte; ed è rimarchevole che la luce che si manifesta in queste circostanze presenta caratteri diversi secondo che esce da un conduttore elettrizzato positivamente, o da uno elettrizzato negativamente. Nel primo caso si ha un *fiocco* luminoso; nel secondo, un sol punto illuminato di luce assai viva, che dicesi *stelletta*. Il fiocco si osserva benissimo nell'oscurità, applicando una punta smussata all'estremità del conduttore della macchina elettrica. Esso è violetto, assai più splendente presso la punta, e va impallidendo verso le ramificazioni. È sempre agitato da un certo tremolio, ed accompa-

gnato da un piccolo fragore. Se gli si accosta una mano, o dei conduttori, acquista maggiore sviluppo, ed a seconda della direzione di essi e della loro forma, prende le varie forme indicate dalle figure 29, 30 e 31 della Tavola I. Nel vuoto le apparenze del fiocco elettrico sono anche più belle.

Il fenomeno della stelletta elettrica può ottenersi, sia per mezzo di una macchina che fornisca elettricità negativa, applicandovi la solita punta smussata, ovvero anche per mezzo di un conduttore elettrizzato positivamente accostandovi la medesima punta colla mano. Però avviene in qualche circostanza che la stelletta si converte in fiocco, e reciprocamente; il che mostra che tra i due fenomeni non v'ha poi una distinzione assoluta.

I fisici si sono occupati a rintracciare la causa dello svolgimento di calorico e di luce che accompagna la scintilla elettrica. Alcuni l'hanno per lungo tempo attribuito alla forte compressione che subisce l'aria nel passaggio della scarica attraverso di essa. Si riteneva che avvenisse in questo caso ciò che era stato osservato molte volte nell'acciarino pneumatico, in cui al momento della rapida compressione dell'aria, si aveva un lampo di luce. Ma è ormai dimostrato che lo sviluppo di luce che si ha in questo istrumento è solo dovuto all'accensione di quel poco di materia grassa, con cui si unge lo stantuffo del medesimo; poichè quando lo stantuffo ne è privo, ovvero quando si comprime un gas privo di ossigeno, il fenomeno non si riproduce. Altri considerarono la luce elettrica come interamente e unicamente prodotta dall'incandescenza o dalla combustione delle particelle solide strappate dai corpi dall'elettricità che gli ha traversati. Ma anche questa ipotesi non regge alla discussione, imperocchè si hanno molti casi in cui la scintilla si produce senza che possa essere avvenuto trasporto di materie solide, come appunto avviene nel fulmine. Le particelle materiali trasportate dalla scarica, possono, è vero, come abbiamo già detto, influire sul colore e sugli altri caratteri della scintilla, ma non ne sono al certo la causa. Devesi adunque ammettere, che nel modo stesso con cui ad un forte svolgimento di calore, va accompagnato un grande svolgimento di luce, così ad una

abbondante produzione di elettrico si uniscano il calorico e la luce insieme. Moltissime sono le circostanze in cui questi tre agenti si svolgono insieme e si accompagnano, e molte quelle in cui l'uno sembra trasformarsi nell'altro; ond'è che appariscono avere la stessa origine, ed essere modificazioni di un solo e medesimo principio.

Effetti della scintilla elettrica. Gli effetti della scintilla di cui vogliamo far parola son quelli che debbonsi attribuire principalmente alla luce ed al calore che l'accompagnano, imperocchè sono i medesimi ancora prodotti da questi due agenti, sia che agiscano separatamente, ovvero insieme uniti. Consistono questi effetti in un'azione chimica pronunziatissima che la scintilla esercita su certi corpi, e nella fosforescenza che produce su di altri. Molti gas capaci di combinarsi, attraversati dalla scintilla si combinano realmente. Così avviene dell'idrogeno e dell'ossigeno, dell'idrogeno e del cloro, dell'azoto e dell'ossigeno, ec. ec. Allorquando si fa passare una scintilla in un miscuglio di ossigeno e idrogeno nelle proporzioni atte alla formazione dell'acqua, contenuto in un recipiente chiuso, la combinazione avviene con detonazione. Volta applicò questo fatto alla costruzione di un apparecchio atto a lanciare in distanza un projettile, e che perciò ricevè il nome di *pistola del Volta*. Consiste in una specie di matraccio metallico il cui orifizio è chiuso da un turacciolo di sughero *m*, e nell'interno del quale penetra un'asta metallica *a b* isolata con un tubo di vetro e con ceralacca, che va a terminare a poca distanza dalla parete metallica del recipiente (*Tav.* 1, *Fig.* 32). Introducendo un po'd'idrogeno nel recipiente onde si mescoli all'aria, e poi facendo scoccare una scintilla sull'estremità *a* dell'asta metallica, questa saltando in *b* nell'interno del recipiente, produce la combinazione dell'ossigeno dell'aria coll'idrogeno introdotto, e l'esplosione ha luogo con la projezione in distanza del turacciolo *m*. Priestly e Cavendish osservarono che facendo passare un certo numero di scintille in un recipiente chiuso e pieno di aria, accadeva la combinazione dell'ossigeno e dell'azoto atmosferico, formandosi una certa quantità di acido nitrico. Quando tratteremo dell'elettricità atmosferica, vedremo che l'acido nitrico che

accompagna le piogge temporalesche, deve ritenersi prodotto dalla combinazione degli elementi dell'aria, operata dal passaggio del fulmine. Ma ciò che v'ha di rimarchevole nell'azione chimica della scintilla si è che mentre è capace di produrre la combinazione di certi gas, è poi capace di distruggere il composto formatosi. Così mentre produce la combinazione dell' idrogeno col cloro, dell'ossido di carbonio coll'ossigeno, dando luogo agli acidi cloridrico e carbonico, agendo poi su questi li decompone, il primo in idrogeno e cloro, ed il secondo in ossigeno ed ossido di carbonio.

La fosforescenza che la scintilla produce su certi corpi consiste nella luce colorata che questi emettono nell'oscurità, dopo essere stati traversati dalla scintilla. È questo un effetto analogo a quello che si produce sugli stessi corpi dopo essere stati riscaldati ovvero esposti per qualche tempo ai raggi solari. Si riproduce facilmente disponendo la materia capace di acquistare la fosforescenza, fra le estremità dello scaricatore universale, e facendo quindi scoccare fra di esse una scintilla. Se si è avuto cura di chiudere gli occhi un momento prima della scarica, e si aprono immediatamente dopo, si vede il corpo tramandare una luce fosforica che varia di colore, a seconda della sua natura. Così questa luce è verde sul fosfato di barite, sullo zucchero in pani, sul gesso ec., mentre è rossa sui gusci d'ostrica calcinati e sul cristallo di rôcca. Affinchè un corpo addivenga fosforescente colla scintilla non è necessario che la scarica lo traversi; così il fenomeno si produce quand'anco si ricuopra la sostanza su cui si esperimenta con una lastra di vetro, e al di sopra di questa si faccia scoccare la scintilla. Egli è adunque evidente che la fosforescenza è solo dovuta alla luce elettrica, e non al passaggio della elettricità.

Sorgenti dell'elettricità statica. Di varia natura sono le azioni che producono svolgimento di elettricità nei corpi. Alcune sono meccaniche, altre fisiche, ed altre chimiche. Le prime consistono nella pressione, nello sfogliamento dei corpi cristallizzati in lamine, e nella confricazione. Lo svolgimento di elettricità colla *pressione* fu la prima volta osservato da Epino, operando con due lamine di vetro, le quali

essendo premute l'una contro l'altra per mezzo di manichi coibenti e quindi rapidamente separate, si mostrarono cariche di elettricità contrarie. Volta dimostrò in seguito lo stesso fatto, operando con piattelli metallici forniti di manichi coibenti che premeva su varie materie, come carta, lana, pelli ec. ec., e quindi ritirava elettrizzati. Libes mostrò parimente che un disco metallico premuto leggermente sopra un disco di legno coperto di taffettà ingommato si elettrizzava negativamente, mentre quando veniva confricato sulla medesima sostanza, acquistava l'elettricità contraria. Più recentemente Haüy e Becquerel hanno grandemente moltiplicati questi fatti. Haüy ha fatto conoscere che vi sono molte sostanze minerali cristallizzate, le quali si elettrizzano colla più lieve pressione tra le dita; e fra queste al più alto grado lo spato islandico, vale a dire il carbonato calcareo romboedrico; la qual facoltà indusse il dotto mineralogista alla costruzione di un sensibile elettroscopio, consistente in un ago mobile intorno ad un pernio, ad un'estremità del quale è fissato un cristallo (*Tav.* 2, *Fig.* 33) di spato d'Islanda. Comprimendo tra le dita questo cristallo esso prende l'elettricità positiva, e la conserva assai lungamente; ond'è che sarà attratto dai corpi elettrizzati negativamente e respinto da quelli carichi della stessa elettricità sua.

Becquerel osservò che oltre la pressione anche la *separazione delle parti di un corpo cristallizzato* può essere una sorgente di elettricità. Distaccando tra loro le lamine costituenti il talco, la mica, il solfato di calce ec. si osserva nell'oscurità una debole fosforescenza. Per assicurarsi che il fenomeno è dovuto all'elettricità basta fissare a ciascuna delle lamine, prima di separarle, un manico di vetro, e presentarle rapidamente, dopo averle distaccate, ad un elettroscopio a foglie d'oro. Si vede allora che le due lamine posseggono elettricità contrarie.

V'ha anche produzione di elettricità allorquando si distacca un corpo cristallizzato per via di fusione, dallo stampo in cui fu colato. Così avviene quando si opera su dello zolfo, su del solfato di potassa ec. Sembra adunque che possa concludersi da tutti questi fatti che la separazione delle parti di un corpo,

sia sempre accompagnata da svolgimento di elettricità, purchè il medesimo abbia una struttura cristallina, imperocchè il fenomeno non si riproduce minimamente sui corpi amorfi, come il vetro, la gommalacca ec., quantunque sieno dotati di grande coibenza. È molto probabile che la luce che diffonde lo zucchero in pani quando viene spezzato nell'oscurità, sia dovuta alla causa di cui abbiamo ora discorso.

Ma l'azione meccanica che dà luogo al maggiore svolgimento di elettricità, e di cui più di ordinario ci serviamo per la produzione di questo fluido, si è la *confricazione*. Già abbiamo veduto come la confricazione di due corpi cattivi conduttori, e quella di un corpo buon conduttore con un cattivo conduttore diano luogo a questo svolgimento. Ma egli è provato dalle esperienze di Becquerel che si produce elettricità anche nella confricazione di due corpi buoni conduttori, come per esempio due metalli. È però vero che tale svolgimento è molto debole, e non di rado incapace di dar segni di tensione negli ordinarj elettroscopi. La circostanza più favorevole onde il fenomeno si manifesti, si è che uno dei metalli sia in limatura, e si faccia cadere sopra una lamina inclinata pure metallica che può essere della stessa o di differente natura. Raccogliendo la limatura sopra una cassula situata al di sopra dell'elettroscopio dopo che ha strisciato sulla lastra, si veggono dei segni di tensione. Anche l'aria ed i gas confricati contro un corpo solido sviluppano elettricità. Se si scuote un pezzo di seta nell'aria e poi si avvicina all'elettroscopio si trova elettrizzato negativamente. Allorquando si fa entrare rapidamente dell'aria entro recipienti che contengono delle sostanze coibenti, si vede prodursi nell'oscurità un debole lampo, che il Beccaria provò esser dovuto all'elettrico. La luce che talora accompagna la scarica del fucile pneumatico deve essere dovuta ad un'eguale causa.

È singolare l'azione che il calore esercita su questi fenomeni di elettricità svolta per confricazione. In generale si osserva che esso dispone i corpi ad acquistare la elettricità negativa. Se si prendono due nastri eguali di seta bianca, e si confricano in croce, in modo che uno rimanga immobile, e

l'altro scorra con tutta la sua superficie sempre sopra la stessa porzione dell'altro, si trova che quest'ultimo, che per essere stato confricato maggiormente si è più riscaldato, ha preso l'elettricità negativa. Per la stessa ragione i corpi a superficie più scabra tendono ad elettrizzarsi nel medesimo modo. Così avviene per esempio al vetro smerigliato confricato colla lana, mentre sappiamo che quando è liscio si elettrizza positivamente. Infine se si confricano fra loro due corpi coibenti, come due pezzi di ceralacca, uno caldo e l'altro freddo, si trova sempre che il primo prende l'elettricità negativa.

Infine ci resta a dire del rimarchevole svolgimento di elettricità che si ottiene nella confricazione del vapore acquoso, trascinante particelle di acqua condensata, contro le pareti di sottili orifizj. Nel 1840, vicino a Newcastle, il caso diede origine a questa scoperta. Il vapore di una caldaja essendosi aperto un adito attraverso la valvola di sicurezza, un operajo, mentre era in parte immerso nel vapore, nell'afferrare la leva della valvola ricevè una forte scossa, e vide una scintilla fra la leva e la propria mano. Il fisico inglese Amstrong informato di questo fenomeno, studiando le circostanze che lo aveano prodotto, giunse a scuoprirne le cause. Egli osservò che la caldaja, essendo isolata dalla cattiva conducibilità dei materiali del fornello, si caricava di elettricità negativa, mentre il vapore che ne usciva era elettrizzato positivamente; ma quando si obbligava il vapore a traversare un tubo di sostanza coibente, terminato con altro tubo metallico fornito di robinetto, la caldaja non si elettrizzava più; ma in sua vece si elettrizzava negativamente il tubo metallico isolato dalla caldaja, ed il vapore era al solito carico di elettricità positiva. Da ciò appariva con evidenza che l'elettricità non si produceva nella caldaja, ma sivvero nel tubo di efflusso. Fu inoltre osservato che non accadeva svolgimento di elettricità se non quando il vapore si svolgeva sotto una grande pressione, nel qual caso il suo getto esce mescolato a molte gocce di acqua, da cui si dedusse che la causa di detto svolgimento consisteva nella confricazione delle gocciolette d'acqua trascinate rapidamente dal vapore contro le pareti del tubo o dell'orifizio di efflusso.

Su questo singolare fenomeno è fondata una macchina elettrica assai potente, l'idea della quale è dovuta allo stesso Amstrong. Essa consiste in una caldaja di lamiera di ferro (*Tav.* I, *Fig.* 34) a focolare interno, isolata su quattro piedi di vetro. La sua lunghezza è di circa un metro e mezzo, ed il suo diametro è di mezzo metro. Un tubo di cristallo situato verticalmente sulla destra della caldaja e comunicante con essa mediante ambedue le estremità, indica il livello dell'acqua nell' interno. Un piccolo manometro ne indica la pressione. Sulla caldaja v'ha un robinetto *C* che si apre appena che il vapore ha acquistato una sufficiente tensione. Al di sopra di questo robinetto trovasi un serbatojo *B* in cui circòlano i tubi *dai* quali si sviluppa il vapore. Questi tubi sono terminati da tubi addizionali *A*, di una forma particolare, rappresentati più in grande dalla sezione *M*, alla sinistra della figura. L'interno di questi tubi di aggiunta è di legno duro, ed ha un ripiegamento che serve ad aumentare l'attrito. Infine la scatola *B* è piena di acqua per raffreddare i tubi di efflusso. Segue da ciò che il vapore, prima di giungere ai tubi addizionali dai quali deve uscire, subisce un principio di condensazione, ed esce mescolato a vescichette di acqua; condizione necessaria, per quanto abbiamo riferito, dello sviluppo della elettricità. Deve per altro osservarsi che onde questa macchina agisca, egli è necessario che l'acqua della caldaja sia pura, ed è singolare vedere che basta una piccolissima quantità di sale o di acido aggiunta all'acqua per far cessare ogni fenomeno elettrico, mentre poco olio di trementina o di uliva rovescia gli stati elettrici.

Amstrong confrontando gli effetti della sua macchina *idro-elettrica* con quelli di una macchina ordinaria, ha determinato che a circostanze eguali, mentre la seconda somministrava 29 scariche per minuto, la prima ne dava più di duecento. Questo resultato indicherebbe il grande vantaggio che si avrebbe dall'uso delle macchine idroelettriche; non di meno è da osservarsi che in queste lo sviluppo della elettricità è intermittente, perocchè fa d'uopo di tratto in tratto chiudere il robinetto della caldaja, ed aspettare che il vapore riprenda la perduta tensione.

L'azione del calorico, ossia *il cambiamento di temperatura* dà luogo su molte sostanze a svolgimento di elettrico, ed a fenomeni di tensioni. Il corpo che più facilmente si elettrizza col riscaldamento è un minerale cristallizzato in prismi esagoni allungati, distinto col nome di *tormalina.* Trovasi il medesimo variamente colorato nei terreni primitivi, e non è raro incontrarlo nel granito dell'isola d'Elba. Varj altri corpi cristallizzati, come la boracite, il mesotipo, il topazio ec., godono della stessa proprietà, ma in minor grado; ed in tutti il celebre cristallografo Haüy constatò un difetto di simetria nella configurazione delle loro parti estreme. I fenomeni di tensione elettrica svolti col riscaldamento sono stati più particolarmente studiati sulla tormalina, ed ecco i resultati a cui si è giunti. Allorchè un cristallo di tormalina vien riscaldato, acquista la proprietà di attirare i corpi leggieri, come minuzzoli di carta ec.; inoltre si osserva che le sue estremità acquistano elettricità contraria. Adoperando due cristalli eguali ed in egual modo riscaldati, si riscontra lo stato elettrico contrario delle due estremità del medesimo cristallo avvicinandole a quelle dell'altro; poichè ora si osserva attrazione, ed ora repulsione. L'elettricità si svolge d'ordinario alla temperatura di 43° *C*, e l'azione continuata del calorico ne accresce sino ad un certo punto l'intensità: si giunge però ad un limite in cui questo aumento cessa, dopo di che proseguendo il riscaldamento, lo stato elettrico scomparisce del tutto. Se si rompe un cristallo di tormalina nel tempo che è elettrizzato col riscaldamento, si trova che tutti i frammenti sono elettrizzati nello stesso modo in cui era l'intiero cristallo, ed è singolare che ciascuno di essi è più di quello carico di elettricità.

Volta considerava il *cambiamento di stato* de' corpi, ed in special modo l'evaporazione come una sorgente di elettricità. Servendosi del suo condensatore, egli aveva costatato che allorquando si fa rapidamente evaporare dell'acqua in un crogiuolo metallico, il vapore che si svolge è carico di elettricità positiva, mentre il crogiuolo rimane elettrizzato negativamente. Le più recenti esperienze di Pouillet e di altri fisici hanno dimostrato che la causa di questo svolgimento di elet-

tricità è di natura chimica e non fisica, dovendosi attribuire non già al cambiamento di stato, ma invece alla separazione dell'acqua dalle materie saline, che sempre questo liquido, in più o men grande quantità contiene. Infatti l'acqua distillata non dà luogo a sviluppo di elettricità nell'evaporarsi; e al pari di essa nessun altro liquido che riscaldato si volatilizza semplicemente senza subire alcuna decomposizione. Se invece si fanno evaporare delle soluzioni saline o acide, lo svolgimento dell'elettricità è immancabile, e accade nel modo stesso che il Volta avea stabilito; eccetto però se si tratta di soluzioni alcaline, nel qual caso il vapore si elettrizza negativamente, e la materia residua ed il crogiuolo positivamente.

Molti altri sono i casi di azione chimica accompagnata da sviluppo di elettricità, e fra questi meritano particolare attenzione la *combustione e l'azione chimica tra i metalli e gli acidi.*

Volta mostrò l'elettricità che si svolge nella combustione del carbone; Pouillet ha più recentemente mostrato quella della combustione del gas idrogeno. In ambedue i casi si hanno segni di elettricità negativa nel corpo combustibile, e di positiva nel prodotto della combustione.

Ma di un' immensa importanza sono i fatti scoperti dal Becquerel intorno allo svolgimento dell'elettricità nell'azione chimica degli acidi sui metalli. Per verificare questi fatti si fa uso di un elettroscopio a foglie d'oro munito del condensatore del Volta. Al piatto di questo apparecchio è unita una verga metallica terminata in un anello, in cui si pone un crogiuolo metallico *p* pieno di un liquido, la cui natura può variare (*Tav.* II, *Fig.* 35). S' immerge in questo liquido l'estremità di una lamina metallica che tiensi all'altro capo colle dita, e perciò in comunicazione col suolo, avendo ben cura che non tocchi in alcun punto il metallo del crogiuolo. Secondo la natura relativa del liquido e dei metalli della capsula e della lamina, trovasi accumulata ora elettricità positiva ed ora negativa sul piatto del condensatore. Se la capsula è di platino, vale a dire non è attaccabile dagli acidi, ed il liquido che contiene è acido solforico più o meno allungato, e la lamina in esso immersa è di zinco, di piombo, di ferro,

di rame, o di altro metallo attaccabile, l'elettroscopio indica sempre che la capsula si è caricata di elettricità positiva. Se invece si tiene in mano la capsula di platino, e si fa comunicare col piatto del condensatore la lamina immersa, questa comunica al medesimò dell'elettricità negativa. Dai quali resultati è dimostrato, che *ogni volta che un liquido agisce sopra un metallo che vi è immerso, e cede uno dei suoi elementi per combinarvisi, v'è sviluppo di elettricità: l'elettricità positiva si porta nel liquido che ha eccitata l'azione chimica, mentre la negativa rimane nel metallo.* Difatti l'elettricità positiva di cui si mostrava carica la capsula di platino, le era comunicata dal liquido in cui era immersa la lamina attaccata, e l'elettricità negativa di questa, per mezzo del corpo dell'operatore si spandeva nel suolo. Quando la capsula è fatta di un metallo attaccabile dall'acido, e la lamina immersa è di platino, allora la distribuzione dell'elettricità è inversa, vale a dire la carica negativa passa nel condensatore, e la positiva si spande nel suolo. Se poi tanto il metallo della capsula che quello della lamina fossero attaccabili dal liquido acido, allora vi sarebbero due azioni chimiche che agirebbero in direzione contraria, vale a dire quella dell'acido sul metallo della capsula, e quella dello stesso acido sul metallo della lamina: in virtù della prima azione la capsula si carica di elettricità negativa, e la positiva si spande nel liquido, da cui esce per la lamina metallica per ispandersi nel suolo; in virtù della seconda la capsula riceve dal liquido l'elettricità positiva e la lamina prende la negativa. Perciò il condensatore riceve al tempo stesso le due elettricità, e secondo che l'azione chimica che soffre la capsula è maggiore o minore di quella che subisce la lamina, esso si carica di elettricità negativa, ovvero di positiva.

Fenomeni Meteorologici dipendenti dall'elettricità statica.

Elettricità atmosferica. Appena furono scoperti i mirabili fenomeni che può manifestare l'elettricità accumulata per mezzo della boccia di Leida e delle batterie elettriche, questi effetti furono trovati tanto simili a quelli del fulmine, che

tosto se ne scorse l'analogia. Non di meno passò molto tempo prima che l'esperienza la dimostrasse. Il celebre Franklin fu il primo che concepisse il mezzo d' impadronirsi dell'elettricità delle nubi, per renderla sensibile negli apparecchi allora noti; immaginando di valersi della facoltà delle punte, da lui scoperta, di scaricare a distanza i corpi elettrizzati. A quest'uopo si servì di un aquilone armato di punte, che in mezzo alla aperta campagna presso Filadelfia, lanciò verso le nubi procellose. Egli aveva attaccato all'estremità della fune dell'aquilone, un conduttore metallico, da cui sperava poter trarre qualche scintilla elettrica. Avendo tentato l'esperimento, rimase in principio deluso, finchè sopraggiunta una leggiera pioggia, la quale avendo bagnato la corda la rese conduttrice, ottenne l'aspettata scintilla. Questa memoranda esperienza, che tanto soddisfece l'autore, fino a moverlo, come si narra, alle lacrime, fu eseguita nel Giugno del 1752. Quasi contemporaneamente, o, come vogliono i fisici francesi, un poco avanti, Dalibart in Francia, ma dietro la scorta delle idee pubblicate dal Franklin, giunse ad un egual resultato valendosi, in luogo dell'aquilone, di un'asta di ferro di 13 metri di altezza, terminata in punta ed isolata nella sua parte inferiore.

Queste esperienze furono ben tosto ripetute da molti osservatori, ed i primitivi apparecchi furono anche assai perfezionati. Alla corda del Franklin si sostituì un filo metallico, e si fece terminare l'estremità inferiore del filo con un cordone di seta di due a tre metri di lunghezza. All'apparecchio del Dalibart si aggiunse un cappello metallico che ricuoprisse la base isolatrice dell'asta metallica, onde difenderla dalla pioggia e così garantirne la coibenza; ed a fine di essere avvertiti anche in distanza del momento in cui l'apparecchio cominciava ad elettrizzarsi vi si unì uno scampanio elettrico disposto nel modo stesso di quello già da noi descritto a pagina 7. Fu inoltre situata presso la spranga una sfera metallica posta in sicura comunicazione col suolo, onde garantire l'osservatore dalle grosse scariche improvvise, le quali colpiscono sempre a preferenza la palla stessa. Richmann, professore a Pietroburgo, non avendo presa questa precauzio-

ne, fu ucciso in un'esperienza di questo genere, colpito in fronte da una scintilla.

Avendo così costatato l'identità dell'elettrico delle nubi con quello che si svolge nelle nostre ordinarie macchine, i fisici estesero assai le loro ricerche intorno all'elettricità atmosferica, e presero principalmente a indagare se l'aria in tempo sereno fosse carica di elettricità. Gli apparati di cui si fa uso ordinariamente per riconoscere l'elettricità dell'atmosfera consistono in elettrometri a foglie d'oro o a palle di sambuco sormontati da un'asta metallica più o meno lunga, e terminata in punta. Questi istrumenti portati in campagna all'aria libera, danno segni di elettricità solo quando si elevano nell'atmosfera, in modo che la loro asta vada incontro a strati d'aria, il cui stato elettrico sia superiore a quello che già possedeva. Il Volta usava di accendere un cerino sulla sommità dell'asta dell'elettrometro, e lo rendeva in tal modo molto più sensibile, probabilmente a motivo della maggior conducibilità dell'aria riscaldata dalla fiamma. Saussure, per esplorare l'elettricità atmosferica, si servì di un elettrometro, intorno all'asta del quale scorreva un anello metallico a cui era unito un filo pure metallico terminato all'altro capo con una palla di ottone. Lanciava questa palla verticalmente in alto colla mano, e sulla medesima passando l'elettricità degli strati superiori dell'atmosfera, veniva per mezzo del filo metallico a trasmettersi all'elettrometro. Becquerel sostituì alla palla metallica una freccia lanciata in alto per mezzo di una balestra. Volendo fare le osservazioni in un gabinetto, l'apparecchio si dispone nel modo seguente: si unisce l'elettrometro mediante un filo conduttore con una verga metallica isolata, terminata in punta e fissata nella parte superiore dell'edifizio; e si dispone a piccolissima distanza dalla parte inferiore della sbarra isolata una palla metallica che comunichi in modo sicuro col terreno, onde su di essa vada a scaricarsi qualunque eccesso di elettricità che potrebbe accumularsi sulla sbarra.

Per mezzo di numerose osservazioni eseguite cogli apparati ora descritti, si è giunti ai resultati seguenti. L'atmosfera contiene elettricità libera non solo durante i temporali, ma sempre; ed essa ora è positiva ed ora negativa. Quando il

cielo è sereno, l'elettricità dell'aria è costantemente positiva; ma la sua intensità varia nelle diverse ore del giorno, e nelle diverse stagioni, come pure a seconda delle località. In generale l'elettricità dell'aria serena è più forte d'inverno che d'estate. Nelle differenti ore del giorno presenta le seguenti variazioni. Al sorgere del sole i segni elettrici sono deboli; ma crescono dalle 8 alle 11 a seconda delle stagioni, ed allora giungono ad un primo massimo; dopo di che rapidamente diminuiscono fino quasi all'ora del tramonto, e crescono di nuovo arrivando ad un secondo massimo poche ore dopo il tramonto; e pel restante della notte proseguono a diminuire. Queste variazioni periodiche derivano probabilmente dai cangiamenti dello stato igrometrico dell'aria nelle diverse ore del giorno. Infatti, la mattina, prima del sorgere del sole, l'umidità dell'aria si è quasi intieramente depositata verso il suolo; cosicchè l'elettricità degli strati superiori dell'atmosfera non può trasmettersi fino ai nostri apparecchi. Alzato il sole, la terra comincia a scaldarsi, l'umidità si diffonde in alto, e serve a trasmetterci l'elettrico degli strati elevati dell'atmosfera, e si ha così un primo massimo. Più tardi l'azione solare rende sempre più secca l'aria; gli strati superiori divengono sempre più isolati dagli inferiori, e l'elettroscopio per la troppa coibenza dell'aria in cui è immerso fornisce nuovamente debolissimi indizj di elettricità. Ma verso il tramonto l'aria di nuovo si satura di umidità, e cagiona il secondo massimo che abbiamo accennato. Si deve parimente attribuire al maggior grado di umidità dell'aria nell'inverno, la maggiore intensità elettrica che manifesta l'atmosfera in questa stagione.

L'elettricità positiva dell'aria serena è soltanto sensibile nei luoghi aperti: sotto gli alberi, presso le case e nel loro interno non se ne riscontra alcuna traccia. La sua intensità aumenta coll'elevazione.

Quando il cielo è coperto, l'atmosfera dà ora indizj di elettricità positiva ed ora di negativa. Avviene anche di sovente che l'elettricità cangi di segno parecchie volte in un giorno pel passaggio delle nubi elettrizzate. Nei giorni di temporale, di pioggia o di neve, l'atmosfera è ora elettrizzata positivamente ed ora negativamente, e le due elettricità si manife-

stano complessivamente per un numero di giorni presso che eguale. In quanto all'elettricità del suolo, Peltier si è assicurato che essa è sempre negativa, ma in vario grado, a seconda dello stato igrometrico e della temperatura dell'aria.

La scienza ignora tuttora come avviene che le nubi acquistino cariche elettriche tanto considerevoli. Certo è che a misura che una nube si addensa, la sua tensione elettrica aumenta. Forse ciò dipende perchè l'elettricità di cui ogni vescichetta vaporosa è fornita, scorre allora con facilità sulla nube, come sopra una massa unita e conduttrice, e si reca alla sua superficie. Può anche supporsi che le nubi agiscano a motivo della loro buona conducibilità, richiamando su di loro tutta l'elettricità sparsa negli strati prossimi dell'aria. Checchè ne sia di ciò, le cariche che accumulansi sulle nubi sono spesso così forti, da produrre tutti i mirabili fenomeni del temporale, vale a dire il lampo, il fulmine, il tuono, la grandine e la tromba.

Ma come avviene che sebbene l'atmosfera in cui si formano le nubi non contenga se non elettricità positiva, pure non tutte sono elettrizzate positivamente, e ve ne ha alcune cariche di elettricità negativa? Questo dipende da ciò che non tutto il vapore acquoso che si solleva nell'atmosfera viene direttamente elettrizzato da essa, ma una parte può anche elettrizzarsi per l'influenza di nubi già cariche di elettricità positiva. S' immagini per esempio una densa nebbia a contatto del suolo, su cui agisca per influenza uno strato di nubi elettrizzate positivamente: è manifesto che su di essa verrà ad accumularsi l'elettricità negativa, mentre la positiva si diffonderà nel terreno; e se allora per qualsiasi circostanza verrà ad elevarsi nell'atmosfera, quando sarà giunta in alto costituirà delle nubi negative.

Lampo e tuono. Tutte le volte che due nubi cariche di elettricità contrarie si avvicinano, accade fra di esse una scarica. La luce della medesima è il lampo, ed il fragore che l'accompagna è il tuono. Il lampo è costituito di luce bianca nelle regioni basse dell'atmosfera, mentre nelle elevate, dove l'aria è più rarefatta prende una tinta violacea, simile a quella della scintilla elettrica nel vuoto della macchina pneumatica. La sua lun-

ghezza è variabilissima, ma è talora di varie leghe: nell'aria i lampi seguono un cammino tortuoso o a zig-zag, il che si attribuisce alla resistenza che presenta l'aria compressa da una forte scarica, per cui la scintilla devia dalla linea retta per prendere la direzione nella quale la resistenza è minore. Infatti nel vuoto l'elettricità si trasmette in linea retta.

Si possono distinguere quattro specie di lampi: 1.° I lampi a zig-zag, che guizzano rapidamente sotto la forma di una striscia di fuoco serpeggiante ed a contorni ben distinti, i quali sono affatto simili alle scintille della macchina elettrica. 2.° I lampi che invece di esser lineari abbracciano tutto l'orizzonte, senza presentare verun contorno apparente ed aventi l'apparenza di una grande conflagrazione. Questi lampi, che sono i più frequenti, sembrano prodursi nel seno stesso della nube e rischiararne la massa. 3.° I lampi così detti *di caldo*, perchè brillano nelle più calde notti d'estate, senza che apparisca alcuna nube sull'orizzonte e senza rumore. Questi, secondo Arago, sono prodotti dalla riflessione nell'aria di lampi ordinarj di qualche temporale molto lontano. 4.° I lampi che appariscono sotto la forma di un globo di fuoco; i quali si propagano lentamente, riuscendo talora visibili per più di dieci secondi. Questi globi spesso rimbalzano quando giungono in contatto del suolo, talora si dividono e scoppiano con immenso fragore. I lampi di questo genere sono rari, ma è stato osservato che quando il fulmine entra negli edifizj non di rado assume questa forma. La loro origine non è conosciuta. La durata dei lampi delle prime tre specie non giunge ad un millesimo di minuto secondo, come può facilmente mostrarsi per mezzo degli apparecchi del Wheatstone, già da noi descritti.

Il tuono, che è la detonazione violenta che accompagna il lampo, si produce contemporaneamente a questo. Non di meno, bene spesso si osserva che passa un intervallo di parecchi secondi tra l'apparizione del lampo ed il fragore del tuono. Ciò dipende dalla differenza tra la velocità del suono, il quale percorre 337 metri al secondo, e quella della luce, la quale impiega un tempo inapprezzabile per giungere dalla nube all'occhio dell'osservatore. Per conseguenza il ru-

more si ode cinque o dieci secondi dopo veduto il lampo, secondo che la nube è distante dall'osservatore di 5 o di 10 volte 337 metri.

Il fragore del tuono resulta dallo scotimento prodotto nella nube e nell'aria dalla scarica elettrica. Vicino al luogo ove scocca il lampo, lo strepito del tuono è brusco e di breve durata. Più lungi si ode una serie di rumori che si succedono rapidamente. A maggiore distanza ancora, il rumore, debole in principio, si cangia in un rumore prolungato e d'intensità assai ineguale. Si sono fatte molte ipotesi per ispiegare questo fenomeno, ma nessuna di esse soddisfa pienamente. Alcuni lo attribuirono alla riflessione del suono sulla terra e sulle nubi; altri hanno considerato il lampo come una serie di scintille elementari producentesi a distanze più o meno grandi, ciascuna delle quali dia luogo a una detonazione particolare, e queste detonazioni giungendo successivamente all'orecchio, sarebbero la cagione del prolungamento del suono; e poichè sarebbero costrette a propagarsi in mezzi di differenti densità, produrrebbero un rumore inegualmente intenso. Infine si è anche attribuito questo fenomeno alle tortuosità stesse del lampo, ammettendo che avvenga una condensazione massima dell'aria ad ogni angolo saliente, il che produrrebbe l'ineguaglianza dei rumori.

Fulmine e suoi effetti. Il fulmine è la scarica elettrica che avviene tra una nube temporalesca ed il suolo. Quest'ultimo, sotto l'influenza dell'elettricità della nube si carica di elettricità contraria, e quando lo sforzo che fanno queste due elettricità per riunirsi vince la resistenza dell'aria, la scintilla scocca, il che si esprime volgarmente dicendo che *cade* il fulmine. Non sempre apparisce che il fulmine scenda dall'alto; talvolta si osserva che ha una direzione opposta. Poichè le attrazioni elettriche sono in ragione inversa dei quadrati delle distanze, deve necessariamente accadere che il fulmine cada sugli oggetti più vicini alla nube, vale a dire sui più elevati; e poichè l'elettricità predilige i buoni conduttori, le materie le più conduttrici saranno a preferenza colpite. Infatti si osserva che sono più generalmente colpiti dal fulmine, i campanili e gli elevati edifizi, gli alberi più alti e le sostanze

metalliche. Perciò è grande imprudenza il collocarsi sotto gli alberi durante il temporale.

Gli effetti del fulmine sono svariatissimi, però tutti della stessa natura di quelli delle scariche ottenute colle batterie elettriche, quantunque molto più intensi, e per così dire ingigantiti. Quando percuote i pezzi metallici, li fonde, ed in parte li volatilizza; o se non è stato abbastanza potente per tale effetto, li rompe e li sminuzza; ma il guasto che produce non è notabile che nei punti della massa metallica pei quali è entrato ed uscito. Quando penetra nel suolo fonde le materie silicee che trovansi sul suo passaggio, e si producono in tal guisa, nella direzione della scarica, dei tubi vetrificati che riceverono il nome di *tubi fulminei* o di *folgoriti*, i quali sono talvolta lunghi varj metri.

Gli effetti meccanici del fulmine sono notabilissimi, poichè si è veduto traslocare qualche volta a grande distanza masse molto pesanti, ridurre in frammenti i corpi poco conduttori i più saldi, e fare su di altri un certo numero di fori.

Quando il fulmine colpisce gli animali o l'uomo, li sbalordisce o li uccide; e ciò sventuratamente, non è tanto raro imperocchè i corpi umidi, quali appunto sono le membra degli animali, dopo i metalli, sono quelli che a preferenza sceglie il fulmine.

Il fulmine diffonde in generale ove passa un odore simile a quello del zolfo bruciato, ovvero di una materia fosforica. Quest'odore è stato da alcuni attribuito ad un composto d'ossigeno e idrogeno che si è creduto si formasse sotto l'influenza della scarica elettrica e che si è chiamato *ozono*; ma in seguito a più recenti indagini risulta che questo corpo altro non è che ossigeno in particolar modo modificato dall'elettricità.

Il fulmine nel traversar l'aria produce la combinazione di una piccola porzione dell'ossigeno e dell'azoto che la costituiscono, e la formazione di un poco d'acido nitrico. Infatti nelle acque delle grandi piogge temporalesche si riscontra sempre la presenza di quest'acido, combinato all'ammoniaca.

Fenomeno del contraccolpo. Non di rado accade che gli uomini e gli animali restino uccisi dal fulmine, senza che la scarica cada direttamente su di essi. Questo fenomeno è

conosciuto col nome di *contraccolpo*, e si produce nel modo seguente. Quando una nube temporalesca passa al di sopra del terreno, agisce per influenza su tutti i corpi situati alla sua superficie, e verso l'estremità superiore di essi attrae l'elettricità contraria alla propria, e respinge l'altra nel suolo. Così tutti i corpi che cuoprono un'estensione di paese proporzionale a quella della nube, e che possono essere molto lontani fra loro, sono tutti carichi d'elettricità dissimulata di nome contrario di quella libera della nube. Se avrà luogo l'esplosione sopra uno di questi corpi, o perchè più elevato, o perchè miglior conduttore, la nube sarà ad un tratto scaricata, e l'elettricità dissimulata raccolta sugli altri corpi passerà istantaneamente nel suolo, ovvero avverrà in essi una subitanea ricomposizione delle due elettricità, cosicchè se questo repentino passaggio di molta copia di elettricità, ovvero questa istantanea ricomposizione, avviene attraverso il corpo di un animale, vi produce gli effetti stessi della scarica diretta. Si può anche colla esperienza render sensibile questo fenomeno. Basta collocare ad una certa distanza da una macchina elettrica, una rana scorticata, e porla col mezzo di una catenella in comunicazione col suolo: ogni volta che si cava dalla macchina una scintilla, la rana prova una violenta scossa.

Grandine. Uno dei fenomeni meteorologici più notabili a cui sembra prender parte l'elettricità si è la grandine: infatti essa di ordinario precede o accompagna le piogge temporalesche. La grandine cade specialmente in primavera o in estate, e nelle più calde ore del giorno; quasi mai di notte. La formazione della grandine è rimasta lungo tempo inesplicata; e difatto riusciva molto arduo rendersi conto della costituzione dei grani che la formano. Sono questi di varia grandezza, ma talora molto considerevoli, e se ne sono visti perfino della grossezza di uova di piccione, e del peso di più di sei once. Sezionati che sieno, mostrano un nucleo di materia nevosa opaca, circondato da uno o più strati di ghiaccio trasparente. Volta, a fine di spiegare la formazione della grandine, immaginò la seguente teoria, la quale è in molte parti soddisfacente; in alcune però è oscura. Per render conto del forte raffreddamento necessario alla congelazione della nube grandinifera, in re-

gioni non tanto elevate, nelle stagioni e nelle ore più calde, egli attribuivalo alla rapida evaporazione della parte superiore della nube, favorita dall'intenso irraggiamento solare, ma ammetteva che fosse essenziale condizione di tal congelamento, una perfetta siccità nell'aria sovrastante alla nube, senza di che il vapore acquoso appena formatosi si sarebbe condensato, ed il raffreddamento non avrebbe potuto essere molto intenso. Sotto tali azioni si formerebbero adunque secondo il Volta, i fiocchi di neve che generano i nuclei dei pezzi di grandine. Per ispiegare poi il loro accrescimento, e la formazione degli strati di gelo che li ricuoprono, fa intervenire l'elettricità. Egli ammette necessaria l'esistenza di due nubi sovrapposte, cariche di elettricità contrarie; e la superiore delle quali si sarebbe prodotta colla evaporazione della seconda. Fra queste due nubi si stabilirebbe un fenomeno analogo a quello della danza elettrica. I fiocchi nevosi della nube inferiore sarebbero attratti dalla superiore; quindi respinti, e così di seguito, di modo che ad ogni nuovo contatto colle nubi verrebbero a ricuoprirsi di nuovo vapore condensato e congelato, che darebbe luogo alle croste che ne circondano il nucleo; finchè poi acquistando un peso molto considerevole, sarebbero costretti a cadere.

In questa ingegnosa teoria, ciò che v'ha di strano, non è già che l'elettricità possa sollevare, fra due nubi, dei grossi pezzi di ghiaccio, imperocchè ci sia ben nota la rimarchevole potenza meccanica dell'elettrico; ma egli è piuttosto l'ipotesi che due nubi tanto fortemente cariche di elettricità opposte, possano rimanere da presso senza che avvenga tra di esse una scarica. Potrebbe supporsi che in certe particolari circostanze delle nubi, ovvero per una distribuzione particolare della elettricità su di esse, ciò possa accadere. Quello che è certo si è che i grani della grandine si sostengono per un certo tempo nell'aria, e v'ha chi ha inteso sulla cima de' monti, essendo in mezzo a nubi temporalesche, il rumore prodotto dall'urto o dallo sbattimento dei grani fra loro durare assai tempo, prima della caduta della grandine.

Trombe. Si chiama *tromba* una nube densa, animata da diversi moti, e di una forma, che suol essere più spesso quella

di un cono rovesciato colla punta in basso. Siffatta nube spinge all'intorno, con grande violenza e fragore, torrenti di pioggia, mista a grandine e a fulmini; l'aria che la circonda è agitata con tal forza da sradicare gli alberi, rovinare le case, e trasportar seco ogni oggetto che non opponga una grande resistenza. Se la tromba passa al di sopra della superficie delle acque, le solleva, come se le aspirasse, e così avviene di sovente in mare. È singolare che allorquando una tromba marina viene colpita da una palla di cannone, ordinariamente si spezza; sparisce la parte inferiore, e la superiore sembra come sospesa alle nubi. Secondo Peltier, la tromba non è altro che una trasformazione particolare del temporale, un nuovo modo con cui si scarica l'elettricità delle nubi. Altri meteorologi suppongono invece che sia prodotta dall'azione di due venti opposti che passino l'uno accanto all'altro; il che avverrebbe in un modo simile a quello con cui producónsi quei piccoli vortici di polvere, che ci è dato spesso osservare, allorquando spira qualche vento foriero di burrasca.

Parafulmine. L'invenzione del parafulmine è un'applicazione della proprietà delle punte rispetto all'elettrico, dovuta al genio di Franklin. Esso consiste in una lunga asta di ferro terminata superiormente in punta aguzza, la quale si eleva sul punto culminante dell'edifizio che è destinato a preservare dal fulmine, e comunica poi col terreno mediante una serie di barre di ferro, che scendono lungo i muri dell'edifizio stesso e vanno a terminare nel suolo. *L'asta o palo* del parafulmine ha ordinariamente l'altezza di 6 a 7 metri, e la sua sezione alla base, è un quadrato di 5 a 6 centimetri di lato. Le si dà questa grossezza, affinchè non si fonda quando il fulmine la colpisce. La sua punta dev'essere bene aguzza, e di ordinario si fa di platino o di rame dorato, onde l'ossidazione non la alteri. *Il conduttore* che dal piede dell'asta scende fino al suolo, e vi penetra per una certa profondità, dev'essere fatto di barre di ferro, bene unite fra loro, e talora si preferisce formarlo mediante corde di filo di ferro simili a quelle che si adoprano pei ponti sospesi. Deve pescare in un pozzo, e per meglio stabilire la comunicazione col suolo, si divide all'estremità in due o tre ramificazioni. Se non vi sono pozzi in vicinanza,

si fa nel suolo un foro profondo quattro o sei metri, e dopo avervi introdotto l'estremità del conduttore si riempie di brace, che ben conduce l'elettricità. È necessario aver grande attenzione che il conduttore non presenti alcuna soluzione di continuità in tutta la sua estensione; e di più se nell'edifizio che si munisce di parafulmine v' hanno pezzi metallici assai considerevoli, come lastre di piombo, grondaje metalliche od altro, si deve aver cura di farli comunicare col conduttore del parafulmine, onde non avvengano delle scariche laterali, che potrebbero recare lo stesso danno del fulmine.

Il modo col quale agiscono i parafulmini è il seguente. Essi vengono elettrizzati per influenza dalle nubi temporalesche; l'elettricità dello stesso nome di quella della nube è respinta nel suolo, mentre l'elettricità di nome contrario è richiamata nella parte più vicina dell'asta; ma quivi non può accumularsi a motivo della punta di cui l'asta è fornita, ed è anzi costretta a sgorgare per essa nell'atmosfera, e così a lentamente neutralizzare quella della nube. Perciò i parafulmini non solo impediscono l'accumulazione della elettricità sugli edifizi a cui sovrastano, ma tendono ancora a ridurre le nubi temporalesche nello stato naturale, i quali effetti concorrono a prevenire la caduta del fulmine. Nondimeno lo svolgimento della elettricità è talvolta sì abbondante che il parafulmine riesce insufficiente a scaricare il suolo, ed il fulmine scoppia; ma allora la scarica cade sul parafulmine a motivo della sua maggiore conducibilità, e l'edifizio è preservato.

L'esperienza ha insegnato che un'asta di parafulmine protegge efficacemente all'intorno uno spazio circolare di un raggio doppio della sua altezza. Per conseguenza un edificio della lunghezza di 64 metri potrebbe esser difeso da due aste di 8 metri di altezza.

Cause dell'elettricità atmosferica. Volta attribuiva l'elettricità atmosferica alle abbondanti evaporazioni che accadono alla superficie della terra. Abbiamo già descritto le esperienze di questo insigne fisico, dipoi ripetute dal Pouillet, nelle quali è provato che allorquando si evapora una soluzione salina, il vapore che si svolge riman carico di elettricità po-

sitiva, mentre il residuo resta elettrizzato negativamente. Lo stesso avverrebbe adunque in natura, dove anche le combustioni e forse la vegetazione concorrerebbero allo stesso effetto.

Molti fisici moderni attribuiscono all'elettricità atmosferica una causa molto più generale, e la fanno risiedere nell'elettricità propria della terra. Vedremo infatti che in realtà la terra mostra di esser percorsa da grandi correnti elettriche; cosicchè potrebbe agire per influenza sulla elettricità naturale dell'atmosfera, separandone i due fluidi nel modo ordinario. Questa ipotesi è appoggiata da un fatto costatato da Saussure e quindi da Peltier, che ha assai importanza. Ecco in che consiste. Se si prende un elettroscopio, e si porta in giorno sereno all'aria libera, si osserva che allorquando s'innalza di qualche metro al disopra del punto in cui non dava alcun segno di tensione, dà tosto dei segni di elettricità positiva; poi quando si abbassa, le foglie tornano a zero, per riaprirsi, dando segni di elettricità negativa, quando si abbassa oltre al punto in cui si era posto allo stato naturale. Ciò avviene a tutte le altezze, e può attribuirsi all'influenza della elettricità della terra, la quale supposta negativa, darebbe luogo ad una accumulazione di elettricità positiva nell'alto dell'atmosfera, cosicchè nel sollevare l'elettroscopio si avrebbero necessariamente dei segni di cotesta elettricità, mentre nell'abbassarlo, vale a dire nell'avvicinarlo alla terra, dovrebbero prima sparire i segni già comparsi, per quindi apparire quelli dell'elettricità propria della terra.

Può infine supporsi che l'elettricità atmosferica non sia prodotta da una sola causa, ma da più, tra le quali quelle da noi indicate sarebbero le principali.

2.° *Elettricità dinamica.*

1.° Del galvanismo, ossia delle correnti elettriche.

Divideremo questa prima parte della elettricità dinamica in cinque capitoli. Nel primo tratteremo della produzione delle correnti elettriche; nel secondo della loro propagazione; nel terzo dei loro effetti; nel quarto dell'azione reciproca delle correnti; e nell'ultimo dell'induzione elettro-dinamica.

1.° Produzione delle correnti.

Svolgimento di elettricità per contatto. Fra le sorgenti dell'elettricità ve ne hanno alcune colle quali una volta eccitato l'elettrico, riesce facilmente costituirlo in *corrente* e farlo perseverare in tale stato finchè la forza eccitatrice continua ad agire. Il contatto dei corpi eterogenei, ed in special modo quello dei metalli differenti è una di queste sorgenti. È al grande fisico italiano Volta che le scienze, le arti, e tutta la civile società debbono questa insigne scoperta, dalla quale son nate tante utili e meravigliose applicazioni. Ma di ciò diremo in appresso: per ora vogliamo indicare come avvenga lo *svolgimento dell'elettricità per contatto;* e quindi per mezzo di esso, la produzione della corrente elettrica.

Ecco le esperienze colle quali Volta giunse a costatare lo svolgimento dell'elettricità nel contatto dei metalli. Se prendonsi due dischi metallici *A* e *B* (*Tav.* II, *Fig.* 36) di natura diversa, come per esempio l'uno di zinco e l'altro di rame, ben levigati e guarniti di manichi coibenti, e dopo averli applicati l'uno contro l'altro, tenendoli pei manichi, si separano, trovansi carichi d'elettricità contrarie; il primo d'elettricità positiva, e il secondo di negativa; ma poichè la loro tensione elettrica è debolissima, fa d'uopo accumulare le piccole quantità d'elettricismo svolte ad ogni contatto, per mezzo del condensatore. Si giunge così dopo un certo numero di contatti a caricare l'istrumento, non solo in modo da riconoscere la spe-

cie di elettricità acquistata dal disco, ma ben anco a produrre delle scintille. Affinchè questa esperienza riesca, fa d'uopo che il piatto collettore sia formato dello stesso metallo del disco col quale si tocca, e che non sia verniciato nei punti di contatto. Quando il piatto collettore e il disco sono di natura differente, convien porre sul piatto collettore un pezzo di carta umida; allora posando su questa il disco, la sua elettricità passa nel piatto, ed è così evitato l'effetto dovuto al contatto dei due metalli diversi costituenti il disco ed il piatto. Si potrebbe anche fare questa esperienza lasciando il condensatore isolato, e toccando nello stesso tempo i due piatti coi due dischi.

Potrebbe supporsi che nelle accennate esperienze l'elettricità fosse svolta dalla pressione; ma se si saldano coi loro estremi una lamina di zinco con una di rame (*Tav.* II, *Fig.* 37) trovansi anche in questo caso oppostamente elettrizzate. Se si tiene in mano la lamina di zinco e si tocca con quella di rame il piatto collettore del condensatore, che supporremo pure di rame, si vede che il condensatore acquista elettricità negativa, e prende la sua massima carica con un sol contatto, e quindi che passa più elettricità nel condensatore di quello che se la lamina di zinco fosse isolata. Se si tenesse la lamina coll'estremità rame, e si toccasse il piatto collettore di rame coll'estremità zinco, non si giungerebbe mai a caricare il condensatore; e non vi si perverrebbe se non interponendo fra il piatto e la lastra un pezzo di carta umida, la quale impedisse il contatto de'due metalli eterogenei, mentre lasciasse passare l'elettricità positiva accumulata sul zinco della doppia lamina. Da ciò che precede, è evidente che, se si toccasse direttamente il piatto collettore con una lamina di zinco, che si tenesse in mano, si caricherebbe nella stessa guisa il condensatore. Operando così con diversi metalli, si trova che il piombo, lo stagno, il ferro, il bismuto e l'antimonio, danno come il zinco elettricità negativa al condensatore, mentre essi prendono l'elettricità positiva; e l'oro, l'argento il platino comunicano elettricità positiva, mentre si elettrizzano negativamente.

Volta ha distribuito i metalli nell'ordine seguente, a seconda della facoltà che hanno di prendere la elettricità positiva al contatto dei metalli che li seguono:

1. Zinco.	8. Ottone.
2. Piombo.	9. Rame.
3. Stagno.	10. Cobalto
4. Antimonio.	11. Platino.
5. Ferro.	12. Mercurio.
6. Bismuto	13. Oro.
7. Bronzo.	14. Argento.

Da questa disposizione resulta, che il zinco è elettro-positivo rispetto a tutti i metalli che lo seguono; che il piombo è elettro-negativo rispetto al zinco, ma elettro-positivo rispetto agli altri metalli, e così successivamente. Inoltre è chiaro che lo sbilancio elettrico, derivante dal contatto di due metalli diversi, sarà tanto maggiore quanto più le materie poste a contatto sono distanti nella serie. Nel contatto dello zinco col ferro infatti si ha una differenza di stati elettrici minore che in quello del zinco col rame, e in questo minore che nel contatto dello zinco coll'argento. È da osservarsi per altro che alcuni fisici moderni, come Marianini e Pouillet, distribuiscono i metalli in un ordine un poco diverso da quello indicato dal Volta, ma tutti fanno cominciare la serie dal zinco, e la fanno terminare coi metalli nobili, oro, argento e platino. I metalli non sono i soli corpi che divengano elettrici nel reciproco contatto, ma in generale tutti i corpi di natura diversa; non di meno pei corpi non metallici le tensioni sono generalmente così deboli, che fa d'uopo d'istrumenti sensibilissimi per riconoscerle.

Teoria di Volta della forza elettromotrice. Onde spiegare i fatti fin qui esposti, Volta suppose che nel contatto dei corpi eterogenei, si sviluppasse una forza particolare, mercè la quale uno di essi si caricasse di elettricità positiva, l'altro di elettricità negativa; e poichè egli ragionava nell'ipotesi di un sol fluido, ammetteva che l'uno acquistasse elettricità, l'altro la perdesse. A questa forza diede il nome di *forza elettromotrice;* e siccome la medesima svolgevasi con maggiore intensità nel contatto de'*metalli* o de'corpi *meglio conduttori*, chiamò questi *perfetti elettromotori*, mentre disse *imperfetti elettromotori* quei corpi nei quali la forza elettromotrice sviluppavasi in minor grado, come appunto avviene nel contatto dei liquidi e

dei corpi umidi, che egli chiamò anche *conduttori di seconda classe*.

La forza elettromotrice non si limita a svolgere elettricità nel contatto di due metalli eterogenei; essa opera anche impedendo la riunione dei due stati elettrici contrarj, che avverrebbe mercè la buona conducibilità de'due metalli. V'ha dunque in una *coppia voltaica*, e così chiamasi la riunione di due metalli eterogenei, un antagonismo tra la forza elettromotrice e l'attrazione delle due contrarie elettricità; ma tra queste due forze opposte si stabilisce bentosto un equilibrio, mercè il quale l'accumulazione delle due contrarie elettricità ha un determinato limite. Se si rappresenta con + 1 l'elettricità positiva dello zinco, e con — 1 quella negativa del rame, la differenza 2 dello stato elettrico di questi due metalli è una quantità costante che serve di misura alla forza elettromotrice stessa. Se uno de'due metalli fra i quali si è prodotta questa forza, perde il suo stato elettrico per il contatto col suolo, ossia lo riduce a zero, non v'ha equilibrio nella coppia finchè la carica dell'altro metallo non è divenuta doppia di prima. Difatto sarà allora soltanto che la differenza de'due stati elettrici eguaglierà la misura della forza elettromotrice.

Allorquando si opera con due dischi muniti di manichi coibenti, dei quali se ne porta uno al condensatore, ad ogni nuovo contatto la forza elettromotrice ristabilisce la primitiva differenza da lei indotta fra gli stati elettrici de'due dischi, e restituisce sempre la stessa carica a quel disco che l'avea perduta nel contatto del piatto collettore; sicchè dopo molti ripetuti contatti, il condensatore si trova fornito di una carica assai considerevole. Quando invece si tocca il piatto collettore colla porzione rame della doppia lastra, mentre se ne tiene in mano lo zinco, il piatto che tocca il rame prende in virtù della forza elettromotrice, la stessa tensione che ha il rame della coppia; cosicchè acquista in un sol contatto la sua massima carica, la quale è necessariamente maggiore di quello che se la lamina zinco fosse isolata. Quando infine la porzione zinco della lamina doppia tocca il piatto collettore di rame, mentre la porzione rame è tenuta in mano e comunica col suolo, mancano gli effetti della forza elettromotrice,

imperocchè il zinco si trova in mezzo a due forze elettromotrici eguali, dirette in contrario verso, le quali perciò si distruggono. Ma interponendo un corpo umido, un conduttore di seconda classe, fra lo zinco della lamina e il rame del condensatore, cessa da uno dei lati l'azione della forza elettromotrice, ed il corpo interposto conduce sul condensatore l'elettricità sviluppata sul zinco dalla forza elettromotrice che agisce dall'altro lato.

Vediamo adesso come l'elettricità svolta nel contatto di due metalli diversi, e accumulata in essi possa mettersi in circolazione, o in altri termini, possa dar luogo alla *corrente elettrica*. S'immagini di avere una lastra doppia di zinco e rame, ricurva ed immersa colle due estremità in un liquido conduttore (*Tav.* II, *Fig.* 38), qual sarebbe l'acqua acidulata con acido solforico. Nei punti in cui i due metalli si toccano direttamente, la forza elettromotrice conserva, riproduce sempre la stessa differenza di stati elettrici, la quale è al tempo stesso distrutta dal liquido conduttore. Nei primi due le due elettricità si separano, nel secondo le due elettricità si riuniscono. Volta, che ammetteva un sol fluido elettrico, diceva che nelle circostanze ora indicate, ha luogo una vera *circolazione di elettricità*, la quale nella coppia metallica va dal metallo negativo al positivo, vale a dire dal rame al zinco, e da questo per la via del conduttore umido, ritorna al negativo per ripassare al positivo.

Ma il fatto indicato è generalissimo: ogni volta che due metalli qualunque riuniti in alcuni punti vengono separati in altri da un liquido, formano un *circuito* percorso *continuamente* dalla scarica elettrica, o, in altri termini, dalla *corrente*. Adoperando due liquidi diversi, come per esempio un acido ed un alcali, ed un sol corpo conduttore di prima classe, come un arco di argento, Volta trovò che anche in questo caso la forza elettromotrice si sviluppava, e che si produceva la corrente. Egli chiamò coppia di second'ordine questa disposizione.

Pila Voltaica. Vediamo adesso in qual modo giunse Volta a moltiplicare gli effetti della forza elettromotrice, addizionando quelli di molte coppie voltaiche; diciamo adunque in

che consiste quel celebre istrumento noto col nome di *pila voltaica.*

Immaginiamo situata sopra un piano isolatore una coppia formata di due dischi di rame e zinco, col primo al di sotto e l'altro sopra; sia posto su questo un disco di cartone o di panno inzuppato di acqua acidulata, e al di sopra di questo un'altra coppia simile alla precedente e nella stessa guisa disposta. Gli effetti delle due coppie si uniscono, e le cariche raddoppiansi. Se aggiungeremo un'altra coppia alle precedenti, avendo sempre cura d'interporre un disco di panno bagnato e di disporre i suoi elementi nello stesso ordine, gli effetti saranno triplicati; e se proseguiremo ad ammontar coppie nel piliere anderemo anche successivamente aumentando le cariche. Troveremo sull'estremo zinco della colonna accumulata tutta l'elettricità positiva svolta dall'apparecchio, e sull'estremo rame tutta l'elettricità negativa (*Tav.* II, *Fig.* 39).

Il ragionamento che condusse Volta a questa scoperta, era fondato interamente sull'ipotesi che la forza elettromotrice di una coppia di rame e zinco non fosse punto alterata, supponendo di dare a questa coppia, come ad un corpo conduttore qualunque, una certa carica di elettricità positiva e negativa. Supponiamo di avere sul zinco + 1 di elettricità positiva, e sul rame — 1 di elettricità negativa, cosicchè la differenza 2 dei due stati elettrici misuri la forza elettromotrice della coppia stessa. Se allora si comunichi al sistema una quantità qualunque di elettricità, Volta ammetteva che essa si distribuisse egualmente sui due corpi, come sopra un corpo conduttore qualunque, per cui l'effetto della forza elettromotrice non era per nulla alterato, in guisa che fra i due metalli sussisteva sempre quella differenza di stati elettrici che misura la forza elettromotrice. Se per esempio si comunica al sistema una quantità 20 di elettricità positiva, si avrà sullo zinco 20 + 1 di elettricità positiva, ossia 21, e sul rame 20 — 1, ossia 19; ond'è che la differenza tra i due stati elettrici primitivi si conserva sempre eguale a 2. Posto ciò, è chiaro che se sopra una coppia isolata, nella quale si abbia sul zinco + 1 di elettricità positiva, e sul rame — 1 di elettricità negativa, si porrà, mediante un disco di panno bagnato, un'altra

coppia simile alla precedente, l'equilibrio non sussisterà finchè sull'ultimo zinco del sistema non vi sarà + 2 di elettricità positiva e sull'ultimo rame — 2 di elettricità negativa, cosicchè la differenza dei loro stati elettrici sia doppia della forza elettromotrice, mentre in ciascuna coppia si conservi sempre la stessa, vale a dire eguale a 2. In tal sistema, per soddisfare a questa condizione, farà d'uopo che lo stato elettrico del zinco e del rame intermedj sia eguale a 0 (*Tav.* II, *Fig.* 40). Se le coppie saranno tre farà d'uopo per l'equilibrio che l'ultimo rame abbia — 3 di elettricità negativa, e l'ultimo zinco + 3, e in tal caso la distribuzione dell'elettricità nel sistema sarà quella indicata dalla fig. 41. Infine seguitando a disporre delle coppie l'una sopra l'altra nello stesso ordine, l'equilibrio elettrico sussisterà sempre nelle stesse condizioni, in guisa che la differenza tra lo stato elettrico del primo rame e dell'ultimo zinco sarà eguale a tante volte la forza elettromotrice quante sono le coppie poste una sopra l'altra.

Egli è chiaro adunque, dopo quanto abbiamo esposto, che nella *pila isolata*, quale si è quella ora descritta, la metà inferiore del piliere è carica di un'elettricità e l'altra metà di elettricità contraria, e le cariche vanno gradatamente aumentando verso le estremità, essendo minime nel mezzo, od anche nulle allorquando la pila ha un numero pari di coppie.

Se poi si costruisce la pila, mettendo la sua estremità inferiore in comunicazione col suolo, è chiaro che lo stato elettrico dell'ultimo disco sarà zero, e che la pila si caricherà di elettricità positiva o di negativa, secondo che la medesima comincerà col rame o col zinco. Cominci infatti col rame; converrà che lo zinco posto al di sopra acquisti + 2 di elettricità positiva: se vi porremo sopra un'altra coppia, farà d'uopo per l'equilibrio elettrico che l'ultimo zinco abbia + 4 di elettricità positiva, ed il rame posto immediatamente al di sotto di esso + 2 della stessa elettricità. Così accumulando altre coppie, la carica positiva della pila anderà aumentando colla stessa progressione, e nel modo indicato dalla fig. 42. Se la pila fosse montata inversamente, vale a dire se lo zinco comunicasse col terreno, la distribuzione della elettricità sarebbe la stessa; ma la carica sarebbe negativa.

Le pile che abbiamo ora descritte, e di cui abbiamo dato la teoria secondo i principj del Volta, diconsi *pile a colonna.* In quella isolata, le estremità cariche di elettricità contrarie chiamansi *poli*; i quali diconsi *positivo* o *negativo* secondo la specie di elettricità di cui sono carichi. Onde ottenere la circolazione dell'elettrico in questa pila, fa d'uopo riunire i due poli mediante un arco metallico. Quest' arco o circuito si suol comporre di due parti che comunicano con una loro estremità coi due poli della pila e che si riuniscono assieme colle altre due a fine di completare il circuito (*Tav.* II, *Fig.* 43). Queste due parti chiamansi *reofori* o *elettrodi.* Nella pila comunicante col suolo, è necessario che le colonne siano due e disposte in senso inverso onde avere i due poli in alto. In ogni caso, allorquando si toccano le due estremità dei reofori della pila colle mani inumidite, si hanno delle scosse; se pongonsi queste stesse estremità a contatto delle tempie, avendo cura di chiudere precedentemente gli occhi, vedesi un baleno di luce; e se uno di essi si mette invece a contatto della lingua, lasciando l'altro applicato in un punto qualunque della testa, si sente anche un sapore acido particolare. Se poi si fanno comunicare i reofori della pila coi muscoli ed i nervi di un cadavere recente, vedesi questo violentemente contrarsi. Questi e molti altri mirabili effetti che vedremo potersi ottenere colla pila, mostrano che attraverso i reofori della medesima scorre un torrente di fluido elettrico. In generale si ammette che l'elettricità scorra dal polo positivo al negativo nei reofori, e nel verso contrario nell'interno della pila.

Cenni storici intorno all'invenzione della pila. Luigi Galvani professore di anatomia a Bologna avea, nel 1790, intraprese alcune ricerche sulla irritabilità degli organi muscolari di alcuni animali per l'elettrico svolto dalla macchina ordinaria o dall'elettroforo. Si narra, che l'illustre professore avesse per quelle sue indagini preparato diverse rane, cui metteva a nudo tutti i muscoli delle estremità posteriori e parte della midolla spinale coi nervi lombari, e per meglio maneggiarle aveva fatto passare tra la spina dorsale ed i nervi un uncino di rame. Avvenne un giorno, che avendo egli sospeso per gli uncini alla ferriata di un balcone alcuni di quei cadaveri così pre-

parati, si accorse che talora provavano delle convulsioni spontanee. Maravigliato dal fenomeno, pensò dapprima che ne fosse causa l'elettricità atmosferica; ma poscia esaminatolo con maggiore attenzione si accorse che accadeva ogni volta che le coscie di quegli animali, spinte dal vento, venivano a contatto delle verghe di ferro della ferriata. Galvani afferrò sagacemente l'importanza di questo fatto, e si applicò a determinare con esatezza le circostanze atte a riprodurlo, e riconobbe che tutto si riduceva a far comunicare i nervi coi muscoli della rana con due lamine o fili metallici od anche con un sol metallo. Ciò stabilito credè l'illustre italiano di ravvisare un fluido proprio della vita, ed esistente nei muscoli e nei nervi, il quale si metteva in circolazione, facendo comunicare quelle parti mediante un arco metallico. Gli animali, secondo il concetto del Galvani agivano a guisa di una bottiglia di Leida, di cui i nervi ed i muscoli erano le armature. La fama di questa singolare scoperta si sparse bentosto per tutta Europa, ove eccitò una indicibile ammirazione. Dovunque facevasi a gara a ripetere quelle esperienze, a variarle ed ingrandirle. Si credeva da molti di avere scoperto il principio della vita, e si sperava persino di poter giungere a governarlo. Il nuovo supposto fluido fu chiamato *galvanico*, e la teoria dell'illustre bolognese acquistò ovunque un'immensa voga. Si riconobbe bentosto una grande analogia tra il fluido elettrico ed il galvanico, imperocchè giammai ottenevansi le contrazioni nelle rane allorquando si stabiliva la comunicazione dei loro muscoli e dei loro nervi mediante corpi cattivi conduttori. Tutti questi nuovi fatti trascinavano anche le migliori menti ad ipotesi ardite e a mille divagazioni, quando un genio potente sorse ad impadronirsene, a mostrarli nel loro vero aspetto, e a ricondurre gli spiriti sulla strada del vero. Questi fu Alessandro Volta, professore di fisica a Pavia, e già celebre per molte scoperte di elettricità, e per l'invenzione dell'elettroforo e del condensatore.

Volta nel ripetere le esperienze del Galvani notò con mirabile acume una condizione del fenomeno, la importanza della quale era sfuggita ad ogni altro osservatore. Egli si accorse che allorquando l'arco conduttore, che stabilisce la co-

municazione tra i muscoli ed i nervi è di un sol metallo, le contrazioni sono sempre poco sensibili, mentre che sono forti quando il detto arco è composto di due metalli. Da ciò trasse la conseguenza, che il fluido posto in giuoco in quelli esperimenti, non proveniva dai muscoli e dai nervi dell'animale, sivvero dai due differenti metalli coi quali veniva posto in contatto, ed altro non era se non elettricità. La nuova teoria del Volta incontrò in principio molta opposizione. I seguaci del Galvani senza negare l'efficacia dei due metalli, obiettavano che la loro eterogeneità non era condizione essenziale del fenomeno, e che un metallo solo era sufficiente ad eccitare le contrazioni. Volta replicava, che per quanto un metallo possa apparire omogeneo, in realtà non lo è mai in un modo assoluto, e mostrava come bastasse confricare un metallo purissimo sopra un altro, perchè le poche particelle eterogenee che vi aderivano ne aumentassero sensibilmente l'efficacia: inoltre supposto anche un metallo assolutamente puro, non doveva esso agire, tosto che veniva in contatto dei muscoli e dei nervi, attesa l'eterogeneità dei contatti? Infine, soggiungeva essere la sostanza dei muscoli e quella dei nervi assai differenti tra loro per produrre elettricità nel toccarsi; difatti bastava ripiegare i muscoli crurali sui nervi lombari per ottenere sensibili contrazioni nella rana.

L'idea dello svolgimento dell'elettricità nel contatto delle sostanze eterogenee si accreditava lentamente: la severità delle teorie fisiche reclamava delle prove più dirette e più decisive, e Volta giunse a mostrarle mediante il suo condensatore, vero microscopio dell'elettricità, mercè il quale potè accumulare e render sensibili le piccole cariche ottenute col semplice contatto di due metalli diversi. Nè quì si arrestò il suo genio inventivo; chè non soddisfatto di aver resa evidente la verità del nuovo principio fisico, volle anche renderne grandiosi i resultati, e a ciò giunse immaginando quel mirabile apparato della pila, di cui avremo luogo in breve di conoscere i portentosi effetti.

Noi abbiamo già esposta la teoria di questo istrumento secondo i principj del Volta. Dobbiamo peraltro soggiungere che in seguito dei grandi progressi fatti in questi ultimi anni

dalla scienza, quella teoria non è più generalmente accettata dai fisici; e la causa dello svolgimento della elettricità nella pila non più si attribuisce alla forza elettromotrice, ma alle azioni chimiche che si manifestano tra i metalli ed il liquido che li bagna. Ma quando poco sopra dicevamo che Volta colla sua teoria avea ricondotto le menti nella strada del vero noi non erravamo, imperocchè se il contatto non è la causa immediata dell'azione, ne è non di meno la mediata, essendochè le azioni chimiche abbiano bisogno per manifestarsi dell'intimo contatto dei corpi. Inoltre, se oggi è indubitato che gli effetti della pila sono principalmente dovuti alle azioni chimiche, non è anche provato in modo certo, che il semplice contatto de' corpi eterogenei, come di due metalli, non dia luogo a svolgimento di elettrico. Ma comunque tali fatti possano essere interpretati, resterà sempre al nostro Volta la gloria di avere inventato l'istrumento il più meraviglioso, il più vario nei suoi effetti, e fors'anche il più potente di quanti furono creati dal genio dell'uomo.

Differenti specie di pile Voltaiche. Volta dopo aver costruito la sua pila a colonna, si accorse bentosto che la medesima presentava parecchi inconvenienti nella pratica, quali sono il tempo lungo per montarla, e la rapida disseccazione dei dischi di panno bagnato, atteso il peso dei dischi metallici sovrapposti. Onde ovviarvi immaginò *l'elettromotore a corona di tazze*, consistente in parecchie tazze o bicchieri di porcellana o di vetro, pieni del liquido conduttore, nei quali sono posti a cavalcioni tanti archetti, formati metà di zinco e metà di rame saldati insieme (*Tav.* II, *Fig.* 44), in modo che in una stessa tazza peschi l'estremità zinco di un archetto e l'estremità rame dell'altro archetto. È chiaro che in questa pila il liquido delle tazze fa l'ufficio dei dischi di panno bagnato. La circolazione della corrente avviene nella stessa guisa che nella pila a colonna, vale a dire dal rame al zinco nell'interno della pila, e dal zinco al rame nell'arco interpolare.

Un'altra pila, che non differisce essenzialmente da quella a corona di tazze, ma che facilita le operazioni, si è la *pila a cassetta* rappresentata dalla figura 45, la quale consiste in una cassetta di majolica o di terra verniciata, divisa in

tanti compartimenti, in ciascuno dei quali deve pescare una coppia formata di due lamine di rame e zinco, separate l'una dall'altra, e solo in contatto colle loro appendici superiori. Queste lamine sono tutte attaccate, coppia a coppia ad una traversa di legno verniciato, talchè possono tutte insieme essere immerse nella cassetta.

Wollaston si accorse che l'effetto della pila era aumentato se davasi al rame una superficie più grande che al zinco; perciò modificò la pila a cassetta circondando la lastra di zinco di ogni coppia, colla lastra di rame della coppia precedente, ma avendo cura di evitare ogni contatto metallico tra queste due lamine. Nella Fig. 46 veggonsi due di queste coppie, in cui colla lettera *r* sono indicate le lamine di rame, e colla *z* quelle di zinco. In *z r* si riuniscono le due coppie, e ciascuna di esse si fa pescare in un recipiente particolare, ovvero in un compartimento separato di una stessa cassetta. Berzelius modificò la pila di Wollaston riducendo la doppia lastra di rame a forma di scatola in cui introduceva la lastra di zinco dopo avervi versato il liquido conduttore. Si possono riunire insieme molte di queste coppie alla Wollaston, e si ha così una specie di pila a corona di tazze, in ognuna delle quali il rame circonda da tutte le parti lo zinco. Il vantaggio della pila di Wollaston consiste nell'esser molta la superficie del rame e nel circondare questo lo zinco, per cui diviene il più piccolo possibile lo strato del liquido che la corrente deve attraversare fra metallo e metallo della coppia.

Si fa spesso uso di apparecchi voltaici formati da una sola coppia di grandi dimensioni: si costruiscono con due grandi lastre l'una di rame e l'altra di zinco separate con piccoli pezzi di legno, e avvolte ambedue a spirale, in guisa che il rame avvolga il zinco. Si ha così una pila elementare, che dicesi *ad elica*, la quale occupa poco posto e i cui effetti sono assai considerevoli. Per farla agire basta immergerla in un vaso pieno di acqua acidulata.

Sono stati fatti molti tentativi per costruire delle pile senza intervento di conduttori liquidi, e si è riusciti ad ottenere degli apparecchi che hanno una tensione, se non permanente, almeno di lunga durata, ma la cui conducibilità è così de-

bole e la carica così lenta, che non producono nè commozione nè alcuno degli altri effetti delle pile ordinarie. Essi diconsi *pile secche.* Si costruirono in principio adoperando dischetti di lamina molto sottile di zinco e di rame fra cui interponevasi della carta spalmata con colla d'amido o con latte. In seguito Zamboni le preparò nel modo che segue. Si prendono dei fogli di carta grossa, e sopra una delle loro facce s' incolla una sottil lamina di zinco o di stagno e sull'altra del perossido di manganese. Si tagliano con questi fogli un numero considerevole di dischi dello stesso diametro, e si dispongono l'uno sull'altro, sempre nello stesso ordine facendone un cumulo di 1000 a 2000. Si tengono fortemente compressi e si circondano di un grosso strato di gomma lacca. All'estremità zinco della pila si pone un grosso disco di zinco, sul quale si può avvitare un bottone metallico, all'altra un disco di rame.

Una delle più utili applicazioni che siansi fatte delle pile secche è quella che devesi a Boembererger. Egli applicolle all'elettroscopio, situandovene due verticalmente, in modo che avessero in alto i due poli opposti. Invece di due foglie d'oro, ve ne ha una sola, ed è situata fra le due pile in modo che la sua estremità libera si trovi ad egual distanza dai due poli delle medesime. Con questo apparecchio si può giudicare della specie di elettricità che si comunica alla foglia d'oro, imperocchè è attratta dal polo carico di elettricità contraria alla sua.

Origine chimica della elettricità della pila. Fino dall'epoca in cui Volta immaginò la teoria della forza elettro-motrice, Fabbroni avendo osservato che i dischi di zinco si ossidavano al contatto delle rotelle di panno inzuppato di acqua acidulata, sospettò che l'azione chimica fosse la causa principale dello svolgimento dell' elettricità nella pila. Wollaston e Davy divisero la stessa opinione. In seguito Faraday, De la Rive, Becquerel ed altri moltiplicarono le esperienze per provare che veramente le azioni chimiche sono cagioni di elettricità, e fondarono la così detta *teorica elettro-chimica.* Prima di esporre questa teoria, indicheremo i fatti principali, da cui resulta con evidenza che le azioni chimiche

sono sorgenti di elettricità e di correnti elettriche. Già abbiamo esposto a pag. 61 le esperienze di Volta, Pouillet e Becquerel nelle quali si rendevano manifeste, mediante il condensatore, le tensioni elettriche prodotte dalle azioni chimiche, ed ivi particolarmente insistemmo sulle esperienze del Becquerel intorno all'elettricità svolta dall'azione degli acidi sui metalli, e si vide che dalle medesime era stata stabilita questa legge generale e costante: che *quando un acido agisce chimicamente sopra un metallo, l'acido si elettrizza positivamente ed il metallo negativamente.* Se ora s'immergono in un acido due metalli, uno dei quali sia attaccato dal medesimo e l'altro no, il metallo attaccato prende l'elettricità negativa, il liquido la positiva, la quale si diffonde sul metallo non attaccato. In questo caso, se i due metalli comunicano tra loro mediante un arco pure metallico, si produce la corrente elettrica. Se poi ambedue i metalli sono attaccati dall'acido, la corrente che si produrrà ci rappresenterà l'azione chimica più forte; e sarà sempre dal più attaccato dei due metalli che la corrente verrà spinta nel liquido.

E qui dobbiamo dire di qual mezzo i fisici si servono per accorgersi della produzione della corrente, ed anche della sua intensità e direzione. Vedremo in breve che esiste in natura una materia, detta *calamita*, sulla quale le correnti elettriche spiegano una rimarchevole azione. Se con questa materia si costruisce un ago, che rendasi mobilissimo intorno ad un pernio, e al di sopra di esso si dispone parallelamente un filo metallico percorso dalla corrente elettrica, si vede che l'ago tende a disporsi perpendicolarmente al filo stesso, e se non vi si dispone interamente ciò dipende da altre forze che agiscono sull'ago stesso indipendentemente dalla corrente elettrica. Ma egli è però chiaro che quanto più l'ago sarà deviato dalla primitiva sua direzione, tanto maggiore sarà la intensità della corrente che agisce su di esso. A fine di misurare la intensità delle correnti che si fanno agire sull'ago, si dispone questo al centro di un cerchio graduato. L'ago prende il nome di *magnetico*, e l'apparecchio in cui è situato, e per mezzo del quale si fanno passare al di sopra di esso le correnti, dicesi *Galvanometro.* Dobbiamo altresì ag-

giungere che a seconda della direzione che prende una delle estremità dell'ago nel deviare, si può giudicare della direzione della corrente. Avremo ben tosto occasione di dare maggiori dettagli intorno a questo importante istrumento: per ora è sufficiente l'averne dato un cenno.

Se adunque nella esperienza di cui poco sopra parlavamo, faremo agire sull'ago del galvanometro la corrente prodotta, e circolante mediante il filo metallico che unisce i due metalli, sarà facile accorgersi che la corrente stessa va dal metallo attaccato al liquido, e ritorna per l'arco metallico dal metallo non attaccato all'altro. E poichè l'azione chimica non cessa di agire, non cessano di prodursi gli stati elettrici contrarj nel metallo e nel liquido; non cessa neanco la continua loro neutralizzazione per mezzo dell'arco metallico, e quindi la corrente è continua. Ma questo fenomeno spiegavasi con egual facilità nella teoria della forza elettro-motrice, e potrebbe a capriccio attribuirsi a questa causa ovvero all'azione chimica.

Anche la combinazione fra liquidi e liquidi è accompagnata da svolgimento di elettricità. Ciò può dimostrarsi nel seguente modo. Si prendono due capsule (*Tav.* II, *Fig.* 47) *P* ed *N*, di vetro o di porcellana; nella seconda *N* si versa la soluzione di un acido, come sarebbe il solforico, il nitrico ec. ec., nell'altra *P* una soluzione alcalina, come di potassa, di soda ec. ec.; si fanno comunicare le due capsule con uno stoppino di cotone inzuppato d'acqua o d'una soluzione salina; ovvero anche mediante un tubo di vetro piegato ad U, e pieno di acqua o d'argilla bagnata. Immerse allora due lamine di platino unite agli estremi del galvanometro nei liquidi delle due capsule, si vede l'ago magnetico deviare e indicare una corrente che è diretta dalla capsula in cui è l'alcali, o la base qualunque, all'acido, attraverso l'arco umido che unisce le due capsule, e che ritorna in direzione contraria passando pel filo metallico del galvanometro. Resulta adunque da questo esperimento che, *nella combinazione di un acido con una base, il primo prende l' elettricità positiva e la seconda la negativa.* Anche questo fatto può spiegarsi colla teoria del Volta. Abbiamo infatti due corpi elettro-motori di second' ordine fra di loro a contatto, ed un arco metallico at-

traverso cui i due stati elettrici separati dalla forza elettromotrice possono riunirsi.

Vi sono però una moltitudine di fatti che non possono spiegarsi colla teoria della forza elettro-motrice, e trovano facilissima spiegazione nei principj da noi stabiliti della teoria elettro-chimica. Noi passiamo adesso ad esaminarli. Si abbiano due lamine, una di rame e l'altra di ferro, unite ai capi del filo del galvanometro. S'immergano nell'acqua o pura o acidulata; tosto si hanno fortissimi segni di corrente elettrica, la cui direzione combina bene nelle due teorie. Il ferro è quello che spinge la corrente nel liquido; ed infatti secondo Volta il ferro si fa positivo pel contatto del rame; e secondo la teoria elettro-chimica, esso a preferenza del rame è attaccato dall'acqua e dagli acidi. Ma se cambiasi il liquido, ed invece di acqua acidulata si pone una soluzione d'idrosolfato alcalino, allorquando s'immergono le due lamine si veggono al solito gl'indizj della corrente che si produce; ma la sua direzione è opposta a quella di prima, ed è spinta nel liquido dal rame. Questo fatto non può intendersi nella teoria di Volta, mentre ha una facilissima spiegazione nella teoria elettro-chimica; difatti è noto in chimica che de'due metalli rame e ferro, il primo è il più attaccato dagl'idrosolfati. Lo stesso deve dirsi di una coppia di rame e stagno: immersa nell'acqua acidulata la corrente è spinta dallo stagno nel rame; laddove immersa nell'ammoniaca liquida la corrente ha una direzione opposta. Ora i chimici sanno che una soluzione acida attacca a preferenza lo stagno del rame, mentre l'ammoniaca agisce a preferenza sul rame.

Questi fatti mentre stanno a provare indubitatamente che le azioni chimiche sono sempre sorgenti di correnti elettriche, non escludono però del tutto la forza elettro-motrice, imperocchè potrebbe supporsi che essa pure intervenisse nelle rammentate azioni, e solamente che ad essa prevalesse la forza chimica. Si possono però citare molti fatti in cui la forza elettro-motrice è affatto esclusa, e la corrente è unicamente prodotta dall'azione chimica. Se ai capi del filo del galvanometro si uniscono due lamine, una d'oro e l'altra di platino, e ambedue s'immergono nell'acido nitrico purissimo, non si sta-

bilisce veruna corrente. Non di meno in questo esperimento vi sono tutte le circostanze richieste per lo svolgimento della forza elettro-motrice: due metalli eterogenei a contatto e un liquido conduttore frapposto. La teoria chimica invece dà ragione della mancanza della corrente, essendochè de' due metalli impiegati non ve ne ha uno che sia attaccato dall'acido nitrico. Se a quest' ultimo aggiungasi un po' d'acido cloridrico tosto la corrente si produce, ed è spinta nel liquido dall' oro, avvegnachè il miscuglio dei due mentovati acidi agisce più energicamente sull'oro che sul platino. Il platino e l'argento immersi nelle soluzioni saline che non hanno azione chimica nè sull' uno nè sull'altro, non producono segno di corrente, ma bastano poche gocce di acido nitrico per svilupparla, e sempre in modo che l'argento, come quello che è attaccato, è l'elemento positivo.

L'esperimento che segue è anche più convincente. Si prenda un tubo di vetro ricurvo ad U, nel mezzo del quale vi sia un tramezzo di cotone, di argilla o di altra materia facilmente permeabile ai liquidi. Si riempiano i due compartimenti del tubo di un medesimo liquido, quindi s' immergano in ambedue due lamine dello stesso metallo, unite ai capi del galvanometro. Egli è manifesto che il liquido, essendo della stessa natura nei due bracci del tubo, e le due lamine di uno stesso metallo, la corrente non può prodursi. Ma se faremo in modo che il liquido di uno dei bracci del tubo divenga più acido o più caldo dell'altro, tale insomma che la sua azione chimica sul metallo immerso sia più forte di quella dell'altro, la corrente avrà luogo, e diretta al solito dalla parte in cui l'azione è maggiore verso quella ov' è minore.

Da questi e da molti più fatti che potrebbero citarsi si possono trarre queste conseguenze:

1.° Il solo contatto di due sostanze eterogenee immerse in uno stesso liquido conduttore non produce corrente elettrica, anche nelle circostanze le più favorevoli secondo la teoria della forza elettro-motrice.

2.° L'azione chimica sola, ed anche senza il contatto di metalli eterogenei, produce la corrente elettrica, la quale è

sempre diretta dal metallo o corpo più attaccato nel liquido che produce l'azione chimica.

3.° Deve perciò ammettersi che nel caso in cui vi è nello stesso tempo il contatto di sostanze eterogenee e l'azione chimica, la corrente elettrica è prodotta da quest'ultima cagione, trovandosi costantemente che il metallo sul quale l'azione chimica del liquido è la più forte è sempre l'elemento positivo della coppia.

Tali cose premesse si domanda, se il solo contatto può reputarsi cagione di elettricità? I propugnatori della teorica elettro-chimica lo negano intieramente; ma in Italia ed in Germania cotesto principio ha tuttora dei valenti sostenitori. Ed in fatti Marianini, Belli, Pfaff ed altri non sanno dove rintracciare l'azione chimica nell'esperimento fondamentale del Volta, consistente nel caricare il condensatore col semplice ripetuto contatto dei due piatti metallici, di rame e di zinco isolati, e neanco sanno trovarla nelle pile secche. Gli elettro-chimici attribuiscono gli effetti dell'esperimento di Volta, ora all'azion chimica dell'aria o dell'umidità sui due metalli ed ora alla pressione dei due dischi, e ripetono l'azion chimica delle pile secche da lenta ossidazione.

Marianini ha avuto cura di escludere nel modo il più completo l'azion chimica negli esperimenti di cui si tratta, operando nel vuoto o in gas privi di ossigeno e di umidità, ed ha sempre ottenuto segni evidentissimi di tensione elettrica, dai quali fatti si deve concludere che anche il solo contatto può talora esser causa di svolgimento di elettricità.

Delle pile a forza costante o a due liquidi. Per intendere i principj da cui dipendono le *pile a corrente costante*, fa d'uopo premettere alcuni fatti sui quali avremo luogo di tornare in appresso.

La corrente elettrica nel traversare certi composti liquidi come l'acqua, l'acido idroclorico i protoclorurì metallici ec. ec. ne separa gli elementi, alcuni dei quali si portano al polo positivo e gli altri al polo negativo della pila. I composti liquidi di tale specie furono da Faraday denominati *elettro-liti*, per distinguerli da quei liquidi che non conducendo la cor-

rente non sono dalla medesima decomposti. Ora si può ammettere che la decomposizione degli elettro-liti per mezzo della corrente sia un effetto d'attrazione di stati elettrici contrarj, onde potrebbe dirsi che il corpo che si fa libero sul polo positivo è carico di elettricità negativa, e l'altro che corre al polo negativo è carico di elettricità positiva. Vedremo in seguito che in tutte le decomposizioni operate dalla corrente, l'ossigeno, il cloro, il bromo si manifestano al polo positivo, mentre l'idrogeno ed i metalli si portano al polo negativo. Perciò i primi furono detti *elettro-negativi* ed i secondi *elettro-positivi.*

Avviene adunque nelle pile voltaiche già da noi descritte, che decomponendosi, pel passaggio della corrente, il liquido stesso della pila, si unisce l'elemento negativo di esso al metallo positivo di ciascuna coppia, mentre al polo negativo si porta l'elemento positivo. Questi elementi ricongiunti coi poli rispettivi di ogni coppia, ne rendono minore la forza, e diminuiscono ben presto notabilmente la energia della corrente. Di fatti lo zinco unendosi all'ossigeno si ossida, e quest'ossido sciogliendosi nell'acido solforico della pila, dà luogo a tanto solfato di zinco che in breve sostituisce tutto l'acido solforico. Dall'altro canto la corrente decompone anche il solfato di zinco prodotto, trasportandone e depositandone lo zinco sul polo negativo di ogni coppia, vale a dire sul rame della medesima, sicchè in breve questo elemento della pila si trova a non avere più azione. Onde ovviare a questo inconveniente, ed ottenere delle correnti che rimanessero costanti per un tempo assai più lungo, fu immaginato d'immergere la lastra di zinco in un liquido, e quella di rame in un altro di diversa natura separati da un diaframma capace d'impedirne la miscela senza intercettare il passaggio della corrente. I due liquidi poi devono essere di tal natura da sciogliere i depositi che si formano ai poli per la decomposizione dell'elettro-lito.

Ma un fatto assai notevole, che ha molto contribuito al conseguimento della costanza nella corrente delle pile, si è il modo di agire dello zinco amalgamato, notato primieramente dal Brugnatelli, e quindi fatto meglio conoscere da Kempe e da

Sturgeon. Ognun sa che lo zinco del commercio, reso impuro da varj altri metalli che lo imbrattano, gettato nell'acqua acidulata la decompone immediatamente sviluppandone in copia l'idrogeno. Lo zinco purissimo, ottenuto per distillazione, invece non vi manifesta alcuna chimica azione; ma se toccasi mentre è immerso nel liquido acido con un filo di platino, tosto sviluppansi su quest'ultimo molte bolle di gas idrogeno, e lo zinco si scioglie. Questa decomposizione è prodotta dalla corrente elettrica che si stabilisce pel contatto de' due metalli e spiega il fatto dell'azione immediata del zinco impuro sull'acqua acidulata. Difatto i metalli che accompagnano lo zinco del commercio sono tutti elettro-negativi rispetto allo zinco, talchè formano secolui tante coppie voltaiche, mercè le quali si stabiliscono tante piccole correnti che operano la decomposizione dell'acqua. Lo zinco ricoperto da uno strato di mercurio, vale a dire amalgamato, agisce esattamente alla maniera del zinco purissimo. Solo non decompone l'acqua acidulata; in contatto del platino o di un altro metallo tosto la decompone, stabilendosi una corrente elettrica. Ignorasi l'azione singolare del mercurio in questa circostanza; ma può dirsi che l'amalgama essendo una combinazione e quindi un corpo particolare, goda al pari dello zinco purissimo della proprietà di non decomporre l'acqua se non quando è costituito allo stato di coppia voltaica. Notata questa singolare proprietà dello zinco amalgamato, ci sarà ora assai facile rilevare l'importanza dell' uso di esso nelle pile. Infatti se lo zinco amalgamato non scompone l'acqua e non si ossida se non pel passaggio della corrente, cioè a dire se non quando è chiuso il circuito della pila; quanto minor consumo di zinco avrà luogo allorchè sarà adoprato invece dello zinco del commercio, il quale agisce chimicamente anche quando il circuito della pila non è chiuso?

Ma egli è anche per un altro motivo, che l' uso del zinco amalgamato riesce vantaggiosissimo. L' esperienza ha provato, che nel caso in cui l'azione chimica sola, senza il soccorso della corrente, sarebbe nulla, allorchè la corrente esiste, la quantità del metallo ossidato è *equivalente* alla quantità di idrogeno che la corrente trasporta sul platino della coppia,

vale a dire che se si raccoglie diligentemente questo idrogeno si trova esattamente in tal quantità da combinarsi coll' ossigeno che si è unito allo zinco per ricostituire dell'acqua. Ciò significa che tutta l'azione chimica si è convertita in corrente; che non vi è stata la minima porzione di zinco ossidata che non abbia spinto elettricità nel liquido. Non è più così quando invece di zinco amalgamato si usa lo zinco del commercio o altri metalli ed altri liquidi. Così, sciogliendo rame, mercurio, bismuto, zinco nell'acido nitrico, la quantità d' idrogeno che si separa sulla lamina platino della coppia è assai minore dell' equivalente della quantità di metallo disciolto coll'acido nitrico puro; v'è molta azione chimica senza traccia di decomposizione elettro-chimica.

Due condizioni sono adunque essenziali ad ottenere l' effetto elettro-chimico equivalente all'azion chimica che ha generato la corrente: 1.° che il liquido sia un elettro-lito; 2.° che il metallo non agisca chimicamente, se non messo in coppia con un altro che non soffra alcuna azion chimica dall' elemento elettro-negativo dell' elettro-lito. Quando queste condizioni mancano, si ha sempre una quantità di metallo ossidato e disciolto che non genera corrente. Ecco adunque l'altra causa per la quale si ha un grande vantaggio usando lo zinco amalgamato nelle pile.

Sopra gli esposti principj sono fondate le pile a due liquidi o a corrente costante, i cui effetti superano di gran lunga quelli delle ordinarie pile voltaiche.

La prima pila a due liquidi fu immaginata dal fisico inglese Daniell. La *Tav.* II *Fig.* 48 rappresenta la sezione di una coppia della pila di Daniell: *a b c d* è un cilindro di rame aperto in alto e chiuso inferiormente, ad eccezione della porzione *e f* destinata a ricevere un turacciolo di sughero, al quale è adattato un tubo di vetro a sifone *g h i j k*. Alla bocca superiore del cilindro si applica un collo *m l n o* di rame, che ha un diametro eguale a quello del turacciolo di sughero: prima di fissare questo collo si lega al turacciolo un tubo di membrana animale, che poi si fissa superiormente nello stesso modo, al collo *m o*. Con questa disposizione si ha una cavità a parete di membrana, che comunica col tubo

g h k a sifone, dimodochè versandovi del liquido, questo vi rimane sinchè non sia oltrepassato il livello *n o*. La più piccola quantità di liquido aggiunta allorchè il livello è in *m o* lo fa uscire dalla apertura *k*. Ne viene che introducendo per mezzo di un imbuto un liquido a goccia a goccia, escirà pure a gocce il liquido più denso che si trova al fondo. In questa cavità piena di una soluzione di acido solforico, si sospende il cilindro *q p* di zinco amalgamato. Questo cilindro si appoggia sul collo *l n* per mezzo di una tavoletta *r* in cui è infilato. Questa stessa tavola ha un foro nel quale s'introduce il tubo dell'imbuto, da cui scola la soluzione acida che va a scacciarne altrettanta dal tubo a sifone. Lo spazio che rimane fra il cilindro di rame e quello di membrana si riempie di una soluzione satura di solfato di rame. Si possono costruire molte di queste coppie che si riuniscono a pila nel modo ordinario. Tanto il cilindro di zinco che quello di rame portano due piccole cavità *u* e *t* nelle quali si versa del mercurio, e vi si fanno pescare i fili metallici di comunicazione fra una coppia e l'altra.

Nella pila ora descritta si hanno molti vantaggi sulle pile ordinarie. L'azione dell'acido sullo zinco si conserva costante, pel rinnuovarsi del medesimo; la separazione dei liquidi in cui sono immersi i due metalli della coppia impedisce il deposito dello zinco sul rame; l'essere la lamina di rame immersa in una soluzione di solfato di rame fa sì che non soffra alcuna azione chimica, e quindi non vi sia alcuna corrente che circoli in direzione contraria di quella prodotta dallo zinco; infine l'amalgamazione di questo è causa che tutta l'azione chimica che si produce, e quindi tutto lo zinco che è ossidato e disciolto, produca corrente elettrica. Invece della membrana animale, la quale bentosto si altera e si lacera, si fa uso oggidì di tubi d'argilla appena cotta e non verniciata. È anche utile nell'uso di queste pile, di tenere nella soluzione di solfato di rame dei pezzi di questo sale allo stato solido; imperocchè la corrente scompone nel suo passaggio questo sale disciolto, e la soluzione cesserebbe bentosto di esser satura senza l'aggiunta di nuovo sale.

Daniell ha in seguito assai modificato la costruzione della sua pila. Tra le varie disposizioni che le ha dato, la seguente

è oggidì più generalmente impiegata. Consiste in un vaso di vetro (*Tav.* II, *Fig.* 49) pieno di una soluzione satura di solfato di rame, nella quale è immerso un cilindro di rame *C*, in cui sono praticati lateralmente parecchi fori, e che è aperto ai due capi. Alla parte superiore di questo cilindro è fissato un recipiente anulare *G*, al cui contorno inferiore si trovano dei piccoli fori pei quali penetra la dissoluzione. In questo recipiente si collocano dei cristalli di solfato di rame che si disciolgono di mano in mano mentre l'apparato è in azione. Infine nell' interno del cilindro *C* si dispone un vaso poroso o diaframma *P* di porcellana non verniciata, pieno di una soluzione satura di sal marino, nella quale s' immerge un cilindro di zinco *Z* aperto ai due capi ed amalgamato. Ai due cilindri di zinco e di rame sono fissate con viti di pressioni due lamine sottili di rame che formano gli elettrodi della pila. Fino a che questi due elettrodi non comunicano tra loro, la pila è inattiva; ma appena la comunicazione è stabilita, incomincia l'azione chimica; l'acqua è decomposta, e la corrente incomincia a circolare. La soluzione del solfato di rame è in parte decomposta, depositandosi il suo rame allo stato polverulento sulle pareti del cilindro *C*, e l'acido solforico reso libero si porta verso lo zinco. Con questa pila si ottengono degli effetti costanti per parecchie ore ed anche per varj giorni, quando abbiasi cura di mantenere la dissoluzione allo stato di saturazione, aggiungendo di quando in quando dei cristalli di solfato di rame nel recipiente anulare.

Dopo Daniell, Grove immaginò una pila fondata sui principj della elettrochimica, la quale ha una potenza di gran lunga superiore alla precedente, e può dirsi che sia la pila più potente che si conosca. Consiste in un vaso di vetro pieno di una soluzione acquosa di acido solforico, in cui pesca una lamina di zinco amalgamato accartocciata a cilindro. Nell' interno di questa lamina di zinco, è situato un recipiente cilindrico di porcellana non verniciata pieno di acido nitrico, ed in questo sta immersa una lamina di platino. Tanto la lamina di zinco che quella di platino sono provviste delle solite appendici metalliche necessarie per la congiunzione delle

coppie tra loro. I grandiosi effetti di questa pila sono dovuti a due cause: 1.ª alla nessuna azione dell'acido nitrico sul platino, per cui non si produce la minima corrente in direzione contraria di quella prodotta dal zinco: 2.ª all'azione chimica che si stabilisce fra l'acido nitrico che bagna il platino, e l' idrogeno trasportato dalla corrente a questo elemento. È chiaro infatti che all'azione della corrente si aggiunge quella dell'affinità dell'ossigeno dell'acido nitrico per l' idrogeno dell'acqua scomposta, e quest' affinità opera togliendo la presenza di un corpo, quale si è l' idrogeno, che per la sua affinità per l'ossigeno lotta sempre collo zinco della coppia. De la Rive ha proposto di sostituire all'acido nitrico il perossido di piombo o quello di manganese umettati, i quali agirebbero nella stessa guisa; ma è indubitato che l'uso dell'acido nitrico riesce più vantaggioso.

L' inconveniente della pila di Grove è l'alto prezzo del platino, che ne limita molto l'uso. Perciò i fisici si occuparono di cercare un elemento atto a sostituire quel metallo. Sturgeon propose la ghisa e la grafite; Callan in America il piombo; Bunsen il carbone, e l'uso di questa ultima materia fu trovato da tutti così vantaggioso, che è stato generalmente adottato, sicchè la pila del Bunsen è fra tutte le pile quella che oggidì è più estesamente impiegata. Il carbone per questa pila si prepara calcinando convenientemente in forme di ferro un miscuglio di carbon fossile e di coke finamente polverizzati. Dopo la calcinazione il miscuglio ha acquistato una grandissima coesione, e può essere lavorato al tornio. Il modo di agire del carbone nella pila di Bunsen, è lo stesso di quello del platino nella pila di Grove; non di meno attesa una certa azione chimica che si manifesta tra di esso e l'acido nitrico, l'energia della pila Bunsen è alquanto minore di quella della pila di Grove. Nella pila di Bunsen, si collocava altra volta lo zinco e l'acido solforico nel vaso poroso, ed il carbone occupava il posto che ora si assegna allo zinco. In tal sistema, essendo la superficie dello zinco minore che nel nuovo, era minore l'azione chimica, e quindi lo svolgimento di elettricità.

Pila a due liquidi e ad un sol metallo, di Becquerel. Un'altra pila, i cui effetti si conservano costanti per un tempo as-

sai lungo, è quella immaginata da Becquerel, e fondata sull'azione chimica che si manifesta tra un acido ed una base, separati tra di loro da un diaframma poroso. Si può costruire riempiendo un vaso di vetro di acido nitrico concentrato, ed immergendo in questo un tubo di porcellana porosa pieno di una soluzione concentrata di potassa caustica. S' immerge una lamina di platino nell'acido, un'altra nella potassa, e si pongono in comunicazione con dei fili di platino. Tosto che la comunicazione è stabilita, l'ossigeno si svolge in abbondanza sulla lamina della dissoluzione potassica, mentre vedesi correre l'idrogeno e disossigenare l'acido nitrico sulla lamina immersa nel medesimo.

Pila a gas di Grove. Questa pila è fondata sull'azione che manifestano tra loro due gas dotati di differente natura elettro-chimica. Si compone (*Tav.* II, *Fig.* 50) di tante campanine di vetro immerse due a due in tanti recipienti pieni di acqua debolmente acidulata. In ogni vaso, una campanina è piena in parte di ossigeno e l'altra d' idrogeno, ed in ciascuna di esse v'ha una piccola lamina di platino coperta di nero di platino, che ne occupa tutta la lunghezza, ed esce dalla sommità della campana, dove è ermeticamente saldata. La pila si compone, facendo comunicare, per esempio la lamina che è immersa nella campanina piena d' idrogeno di una coppia, colla lamina che è immersa nell'ossigeno della coppia successiva, e così di seguito: le due lamine estreme appartengono a due gas differenti; quella dell'ossigeno forma il polo positivo della pila e quella dell' idrogeno il polo negativo. Quando questi poli sono in comunicazione, costituiscono una corrente di rimarchevole intensità. Se si misura la quantità d'acqua che questa corrente è capace di decomporre, si trova che è esattamente eguale a quella che si forma nel seno di ogni coppia per la combinazione dei due gas. La combinazione chimica dell' idrogeno coll'ossigeno operatasi mercè la presenza del platino è la sorgente dell'elettricità di questa pila. Allorchè il circuito è chiuso veggonsi i due gas diminuire di volume e sempre nei rapporti richiesti per formare acqua: lasciato aperto il circuito, i gas non diminuiscono. Tuttavia i

segni al condensatore si ottengono sempre; negativi sulle lamine che stanno nell'idrogeno, e positivi su quelle che stanno nell'ossigeno.

Correnti termoelettriche. L'azione del calore non si limita a rendere elettrici i cristalli di tormalina o di altri minerali, come è stato già da noi detto, ma si fa anche sentire sui corpi buoni conduttori e particolarmente sui metalli per produrvi delle correnti più o meno energiche, che furono scoperte nel 1821 dal Dottor Seebeck di Berlino. Queste correnti hanno ricevuto il nome di *termoelettriche*, per distinguerle da quelle dovute alle azioni chimiche, le quali si denotano più specialmente col nome di correnti *idroelettriche*. Se si prende un lungo filo di platino e dopo averne unite le estremità ai capi del galvanometro, si riscalda nel suo mezzo con una fiamma a spirito, ovvero con un carbone acceso, non si vede alcun segno di corrente nel galvanometro; ma se invece di lasciare tutto disteso il filo di platino, vi si fanno in un punto più nodi l'uno presso l'altro, allorquando si riscalda movendo la fiamma verso la parte annodata del filo, subito l'ago del galvanometro devia fortemente e indica una corrente che nel filo di platino è diretta dal punto riscaldato verso i nodi, e nel filo del galvanometro dai nodi verso il punto riscaldato. Se invece di prendere un filo di platino e di farvi uno o più nodi, si prendono due pezzi di uno stesso filo molto lunghi, ed uniti al solito ai capi del galvanometro, e se ne riscalda uno alla lampada e si porta a contatto dell'altro rimasto freddo, nell'istante v'ha una forte deviazione che indica al solito la produzione di una corrente che si propaga dai punti caldi verso i freddi. Questa corrente si produce ancora, operando con due fili di piombo o con due cilindretti di antimonio. Se invece adopransi dei fili di ferro, di rame o di zinco, i fenomeni non sono più costanti, e sembrano spesso dipendere dall'azion chimica che subiscono dall'aria nel riscaldamento. V'ha però un metallo che presenta dei fenomeni termoelettrici costantemente inversi a quelli del platino, dell'antimonio e del piombo. È questo il bismuto. Due cilindretti di questo metallo uniti ai fili del galvano-

metro, uno dei quali viene scaldato ed applicato sull'altro freddo, danno sempre una corrente che si propaga dal freddo al caldo.

Le correnti termoelettriche percorrono facilmente un circuito tutto metallico, e si mostrano sensibili al galvanometro; ma riescono insensibili agl' istrumenti i più squisiti quando devono transitare per un conduttore liquido di una certa lunghezza. Egli è per questo motivo che non si riesce a produrre correnti termoelettriche nei liquidi, ed in generale nei conduttori di seconda classe. Il mercurio, quantunque ottimo conduttore è privo della facoltà termoelettrica.

Le correnti termoelettriche di maggiore importanza son quelle che si producono nei circuiti formati di metalli differenti. Se si saldano insieme due lamine o due fili metallici di natura diversa come d'antimonio e bismuto, di bismuto e rame, di ferro e platino, e se ne forma un circuito chiuso analogo a quello indicato dalla fig. 51, si trova che in questo circuito si stabilisce una corrente elettrica tutte le volte che le due saldature $a\ b$, $a'\ b'$ non hanno la stessa temperatura. Se si sospende un ago calamitato presso un punto qualunque del circuito, e si scalda in $a\ b$, l'ago indicherà una corrente che si propagherà in una certa direzione. Se allora si scalda anche in $a'\ b'$, cesserà ogni deviazione nell'ago. Se invece di scaldare in $a\ b$ si scalderà in $a'\ b'$, si avrà una corrente in direzione contraria di quella ottenuta scaldando in $a\ b$. La riunione di due metalli differenti saldati per una loro estremita, e capaci di dar luogo ad una corrente elettrica quando vengono scaldati nella saldatura, costituisce una *coppia termoelettrica*. Per compiere il circuito in questa coppia, se ne saldano le due estremità coi fili del galvanometro, come è indicato dalla figura 52 della Tav. II.

Becquerel, Nobili ed altri fisici, esperimentando sopra coppie termoelettriche di differenti metalli, hanno trovato che riscaldando una delle saldature $a + 20^{\circ}\ C$, mantenendo l'altra a 0°, si ottengono delle correnti il cui verso indica che i metalli debbono disporsi nell'ordine seguente quanto alle loro proprietà termoelettriche:

1. Bismuto	6. Oro
2. Platino	7. Argento
3. Piombo	8. Zinco
4. Stagno	9. Ferro
5. Rame	10. Antimonio.

Ciascuno di questi metalli spinge la corrente nel metallo che lo segue, e la corrente è tanto più intensa, quanto più i due metalli sono lontani nella scala indicata. Perciò la corrente più forte si otterrà adoprando la coppia formata di bismuto e antimonio.

Le correnti termoelettriche crescono in intensità formando un circuito di parecchie coppie, e si hanno così le *pile termoelettriche*. La fig. 53, Tav. II, rappresenta la più semplice disposizione di queste pile. Se si scaldano le saldature di numero pari, o quelle di numero dispari, tenendo nello stesso tempo le altre ad una temperatura inferiore, si hanno correnti che per una data differenza di temperatura producono delle deviazioni nell'ago del galvanometro, le quali crescono col numero delle coppie. Fourier ed Oersted furono i primi a costruire delle pile termoelettriche; ma poichè la loro disposizione estendeva il circuito per un grande spazio, poco prestavansi ai bisogni della scienza e delle sue applicazioni. Onde soddisfare a ciò, era d'uopo che tutte le saldature pari venissero a radunarsi in un piccolo spazio, e così le impari: in tal modo soltanto era possibile riscaldarle contemporaneamente con una stessa sorgente calorifera o raffreddarle con un mezzo frigorifero. A questo intento giunse il nostro Nobili. La sua pila consiste nella riunione di diversi filari di coppie di bismuto e di antimonio, disposte parallelamente le une sopra le altre in direzione orizzontale. Ogni fila si compone di 5 coppie, insieme unite, nel modo che indica la fig. 54. L'ultima asta di bismuto *b*, del primo filare, è saldata lateralmente all'antimonio di un secondo filare simile, indi l'ultimo bismuto di questo all'antimonio di un terzo, e così di seguito fino a disporre gli uni sugli altri quattro filari contenenti complessivamente venti coppie, le quali cominciano con un antimonio e finiscono con un bismuto. Queste coppie

ono poi isolate le une dalle altre per mezzo di listerelle di arta coperta di vernice, indi chiuse in un astuccio di ottone P (*Fig.* 55 *Tav.* II) in modo che rimangano libere le sole aldature alle due estremità della pila. Due aste di rame *m* d *n*, isolate in un anello di avorio, comunicano internamente, 'una col primo antimonio, e rappresenta il polo positivo, 'altra coll'ultimo bismuto e rappresenta il polo negativo. Queste aste si pongono in contatto colle estremità del filo di n galvanometro quando si voglia osservare la corrente termo-lettrica. Volendo fare agire lo apparecchio, si mantiene cotante la temperatura di tutte le saldature di una faccia e si caldano quelle della opposta. Nel trattato del calore abbiamo eduto le importanti applicazioni della pila del Nobili, fatta ervire come apparecchio termoscopico. Abbiamo visto come elle mani del Melloni, il *termo-moltiplicatore*, abbia servito lla scoperta delle più ammirabili proprietà del calor raggiante. n quest'apparecchio la pila termo-elettrica si compone di 0 a 60 coppie. La sensibilità del termo-moltiplicatore supera uella del termoscopio ad aria, ed è circa 20 volte più grande li quella del termometro di Breguet, dando indizj del calorico rradiato da una persona alla distanza di 10 e più metri, anhe senza fare uso di specchi concentratori. Molte altre sono e applicazioni che si sono fatte nella scienza delle coppie ermo-elettriche, come apparecchi termoscopici, ma sarebbe qui fuor di luogo il trattarne.

Correnti elettriche animali. — Pesci elettrici. Si conosce da gran tempo la facoltà che hanno alcuni pesci di dare delle cosse allorquando vengono toccati. Il più noto fra questi peci è la torpedine (*Raja Torpedo*) (*Fig.* 71, *Tav.* III), che trovasi nei nostri mari presso l' imboccatura dei fiumi. Gli altri ono il ginnoto o anguilla del Surinam (*Gymnotus electricus*), l Siluro (*Silurus electricus*) il *Tetrodon electricus* ed il *Trichiurus electricus.* Il più potente fra tutti è il ginnoto, le cui scosse eiterate sono capaci di uccidere dei grossi animali come per sempio dei cavalli.

Allorquando si prende tra le mani una torpedine si hanno cosse ai polsi ed alle braccia, come se si toccassero i poli

di una pila a colonna di circa 100 coppie. Seguitando a tenere fra le mani l'animale, le scosse che dà si succedono con grande rapidità, per cui riesce impossibile sostenerle a lungo. Nondimeno dopo un certo tempo le scosse ripetendosi s'indeboliscono, e l'animale ha bisogno di nutrimento e di riposo per riacquistare il primitivo vigore. Fuori dell'acqua le scosse sono più vigorose; ma si hanno eziandio immergendo una o ambo le mani nell'acqua della vasca in cui la torpedine si trova. I pescatori si accorgono spesso della presenza della torpedine nel mezzo delle loro reti, ricevendo delle scosse nel gettare che fanno, con dei secchi, dell'acqua sulla pesca, onde lavarla. Nel mare, avviene talora di ricevere la scossa dalla torpedine anche a delle grandi distanze dall'animale. Sembra che la natura si sia compiaciuta di accordare quest'arme alla torpedine ed agli altri pesci sopra rammentati, affinchè possano mediante di essa procacciarsi la preda.

Non fu difficile accorgersi, anche ai primi osservatori, che la scossa della torpedine era di natura elettrica; poichè mentre le materie conduttrici dell'elettricità erano atte a trasmetterla, quelle coibenti invece la impedivano. Walsh fu il primo ad osservare che le due facce opposte del corpo della torpedine, sono i poli in cui si trovano nell'atto della scarica le elettricità contrarie; ed infatti si ha una scossa assai più violenta delle ordinarie, quando si toccano contemporaneamente il dorso ed il ventre dell'animale.

La scossa della torpedine presenta tutti gli altri caratteri proprj alla scarica elettrica. Le rane preparate secondo l'uso, poste sulla torpedine, si contraggono nel momento che l'animale dà la scossa. Il galvanometro annunzia la scarica con forte deviamento, quando i suoi capi di platino siano messi particolarmente in comunicazione uno col dorso e l'altro colla pancia dell'animale; e la corrente va pel filo da quello a questa. Se i capi di una piccola elica di filo metallico comunichino col dorso e con la pancia della torpedine, quando avviene la scarica un piccolo ago di acciaro posto nell'elica sarà calamitato. Ma il fenomeno più convincente è quello della scintilla, la quale fu per la prima volta ottenuta dal Matteucci.

Ecco il modo con cui si procede in questa esperienza. Si colloca l'animale colla pancia o colla schiena sopra un largo piatto metallico *A* (*Fig.* 72, *Tav.* III) bene isolato, e si posa sopra l'altra faccia del pesce un altro piatto simile tenuto con manico isolante. Sopra ogni piatto è disposta una piccola asta metallica terminata da una pallina, e da ciascuna di esse pende una fogliolina d'oro. Si dispongono i piatti in modo che le due foglie giungano in grande prossimità. Se allora si comprime la torpedine col piatto superiore, nel momento che essa dà la scossa si vede brillare una piccola scintilla fra le due foglie. L'esperienza riesce con più sicurezza saldando una lima al filo metallico di uno dei piatti, e scorrendo su di essa l'estremità del filo che è unito all'altro piatto. Di tratto in tratto veggonsi balenare delle piccole scintille dalle punte della lima.

Tutti i fenomeni della scossa o scarica della torpedine sono adunque dovuti ad una corrente elettrica. L'apparecchio da cui questa corrente è prodotta consiste in un organo particolare, chiamato *organo elettrico*, il quale è doppio, vale a dire formato di due parti simmetriche, che sono situate ai due lati del capo. Ciascuna di queste parti si compone di un numero considerevole di piccole masse prismatiche, collocate le une accanto alle altre, e dirette verticalmente dal dorso al ventre dell'animale, in modo che la loro sezione perpendicolare agli spigoli dei prismi offre l'aspetto delle cellette di un alveare (*Fig.* 73, *Tav.* III). Questi prismi perpendicolarmente ai loro spigoli, sono divisi da parecchi diaframmi che formano una serie di vescichette identiche fra loro e piene di un liquido costituito di acqua, albumina e sal marino. Tutto l'apparecchio riceve numerose diramazioni dei nervi pneumatogastrici. Ciascuna delle vescichette, che col loro insieme costituiscono i prismi dell'apparecchio elettrico della torpedine, è secondo il Matteucci l'organo elementare di quell'apparecchio. Difatti asportandone una dall'organo elettrico di una torpedine viva, si osserva che posta in contatto dei nervi di una rana preparata, e stuzzicata con un corpo aguzzo, è capace di eccitare delle contrazioni nella rana.

L'organo elettrico è sotto l'influenza della volontà dell'animale; la quale vi si esercita mediante i nervi che vi si distribuiscono. Irritando separatamente questi nervi, la scarica si ottiene non da tutto l'organo, ma dalla porzione soltanto in cui il nervo irritato si distribuisce. Anche la corrente elettrica fatta passare pei nervi che vanno all'organo elettrico, vi eccita le scariche. In quanto all'azione che il cervello esercita sulla mirabile facoltà della torpedine, il Matteucci ha osservato che i primi lobi di detto organo, i lobi ottici ed il cervelletto non vi hanno alcuna influenza, potendo essere tolti senza che perciò cessino le scariche; ma invece un quarto lobo, che egli chiama *lobo elettrico*, non può essere irritato senza che tosto si manifesti la scarica; e distrutto che sia, l'organo elettrico perde ogni suo potere.

Il ginnoto, che abbiamo detto presentare i medesimi fenomeni elettrici della torpedine, ma con assai maggiore intensità, ha la forma di una grossa anguilla. Il suo organo elettrico è composto esso pure di tanti prismi addossati e costituiti dall' insieme di molte vescichette; ma invece di esser diretti col loro asse dal dorso al ventre dell'animale, lo sono invece dalla testa alla coda. Ne segue adunque che nel ginnoto l'estremità cefalica è il polo positivo, e la caudale è il negativo; e con ciò si spiega l'artifizio di cui si serve questo animale per uccidere un pesce colla scossa; quello cioè d' incurvare il corpo, in modo che la preda rimanga compresa nella concavità formata.

Il Matteucci considera l'organo elettrico della torpedine e del ginnoto come una specie di pila, i cui elementi sarebbero le innumerevoli vescichette che lo formano. Queste vescichette non entrerebbero in azione per separare le due elettricità, se non mediante l'eccitazione del sistema nervoso; la quale perciò agirebbe nell'organo in discorso alla maniera del calore sulla tormalina o dell'azion chimica fra due corpi di natura diversa. Le osservazioni microscopiche dell'abile micrografo Filippo Pacini sulla struttura delle vescichette dell'organo elettrico della torpedine e del ginnoto, stanno a convalidare l' ipotesi ora accennata. Egli ha riconosciuto una differenza manifesta fra la struttura delle due facce, superiore ed inferiore di cia-

scun diaframma di tali vescichette elementari. Questa differenza è assai più rimarchevole nel ginnoto che nella torpedine. In quest'ultimo pesce essa consiste soltanto in ciò, che le estremità delle ultime diramazioni nervose e sanguigne si attaccano tutte *alla sola faccia inferiore* di ciascun diaframma, e giammai alla superiore. In questa differenza consisterebbe secondo il professor Pacini l'attitudine diversa delle due facce ad acquistare sotto l'influsso nervoso, piuttosto l'una che l'altra polarità; ed il polo negativo corrisponderebbe sempre alla faccia a cui si attaccano le fibre nervose; vale a dire alla inferiore. I diaframmi elettrici del ginnoto presentano una spessezza ed una complicanza assai maggiori che nella torpedine, e si compongono di due parti distinte e molto diverse tra loro, l'una sovrapposta all'altra. Alla superiore il Pacini ha dato il nome di *corpo cellulare*, ed alla inferiore quello di *lamella fibrillare*; ed è in quest'ultima che vanno a terminare i vasi e i nervi proprj dell'organo elettrico. Perciò la prima è l'elemento positivo dell'organo stesso, e la seconda il negativo.

Correnti nervee e muscolari. Avendo i fisici ed i fisiologi stabilito coll'esperienza che nei pesci di cui abbiam di sopra discorso, le azioni vitali sono capaci di produrre larga copia di elettricità, la quale nei medesimi si manifesta mercè un particolare organo collettore; era naturale il ricercare se pure elettricità si producesse negli altri animali, i quali mancando di siffatto organo non ne appalesano l'esistenza. Il Galvani fu il primo ad osservare che una rana preparata alla sua solita maniera, si contrae allorchè si fanno giungere a mutuo contatto i suoi nervi lombari coi muscoli della coscia o della gamba. Il Nobili dimostrò in seguito per mezzo del galvanometro che una vera corrente elettrica circolava nelle membra della rana in conseguenza di quel contatto. L'esperienza del Nobili si opera in questa guisa. Si colloca una rana di fresco preparata accavalcioni a due bicchierini contenenti acqua stillata, in modo che i nervi lombari peschino in uno di essi e i muscoli delle gambe nell'altro. Così disposte le cose, si chiude il circuito immergendo nei bicchierini le due estremità di platino del filo galvanometrico. Tosto vedesi deviare l'ago di 10° a 15°, e nel tempo stesso contrarsi la rana. Il verso della deviazione, in-

dica che la corrente va dai muscoli al nervo nell'interno dell'animale. Questa corrente che non è stata fin qui riconosciuta che nella sola rana, è perciò distinta col nome di *corrente propria della rana.*

Ma in tutti gli animali si hanno delle correnti muscolari facili a mostrarsi coll'esperienza. L'esistenza di queste correnti è stata dimostrata dal professor Matteucci. Per rendere manifeste siffatte correnti, questo illustre fisico si serve ora della rana galvanoscopica ed ora del galvanometro. La rana galvanoscopica consiste in una mezza coscia di questo animale col nervo sporgente, collocata entro un tubo di vetro, in modo che il lungo tronco nervoso resti di fuori. È chiaro che se questo nervo chiuda un circuito qualunque, i muscoli della coscia col loro contrarsi annunzieranno il passaggio della corrente. Perciò, se tolti i comuni integumenti, si faccia una ferita in un muscolo di un animale vivo, e due punti del nervo della rana galvanoscopica tocchino due punti diversi di cotesta ferita, si vedrà la rana contrarsi. E che tali contrazioni sieno prodotte da una corrente elettrica dovuta alle diverse parti del muscolo dell'animale, lo prova il non vedere eccitarsi alcuna contrazione quando si toccano due punti distinti del nervo della rana con un corpo conduttore qualunque, o con un liquido, fosse anche un umore animale, come sangue, siero ec. La rana galvanoscopica si contrae anche quando si esperimenta sui muscoli di animali di recente uccisi, e sui muscoli separati dall'animale.

Il galvanometro con scandagli di platino annunzia esso pure le correnti muscolari, e mostra che le medesime sono dirette dall'interno della ferita del muscolo verso l'esterno. Il Matteucci ha poi avuto l'ingegnosa idea di fare delle pile con mezze cosce di rane, infilate l'una dentro l'altra come mostra la fig. 74, Tav. III, in guisa che in tutte la superficie esterna del muscolo sia rivolta da un lato, e la parte interna dall'altro. Ha così ottenuto delle correnti d'intensità maggiore, e proporzionali al numero delle coscie adoprate. Resultati simili sonosi ottenuti con muscoli di uccelli ed anco di mammiferi. È però importante notare che le correnti muscolari si estinguono assai più presto negli animali superiori che negl'inferiori.

2.° *Propagazione delle correnti elettriche.*

Velocità della corrente. — È facile immaginare il modo col quale debbono praticarsi le esperienze destinate a misurare la velocità con cui la corrente elettrica si propaga. Supponiamo di avere un circuito di una pila, formato da un filo metallico lungo molte miglia, il quale si estenda tra due città assai lontane fra loro, come Firenze e Livorno. A queste due stazioni sieno due osservatori, muniti ambedue di orologi messi perfettamente d'accordo tra loro, e stiano coll'occhio attento sull'ago di un galvanometro compreso nel circuito. Ad un certo istante, convenuto preventivamente, uno degli osservatori chiuda il circuito riunendo i capi del filo ai due poli della pila. L'altro osservatore noterà l'istante in cui vede deviare l'ago del galvanometro. Ora accade sempre che questi due istanti coincidano sempre, non solo per una piccola distanza, quale si è quella tra Firenze e Livorno, ma per molto più grandi ancora; e si può dire senza tema di errare, che se il circuito elettrico facesse anche il giro intiero intorno alla terra, la corrente elettrica si propagherebbe in tutti i punti del filo conduttore in un tempo talmente corto da non esservi pei nostri istrumenti e pei nostri sensi, differenza sensibile di tempo tra il manifestarsi della corrente in un punto o in un altro qualunque del circuito. Da alcune recenti esperienze, colle quali si è tentato di scuoprire la velocità con cui si propaga la corrente elettrica nei fili metallici, si è trovato che questa velocità era maggiore di quella con cui si propaga la luce, che si sa essere di circa 200,000 miglia in un minuto secondo.

Leggi della propagazione della corrente. — 1. *In un circuito qualunque percorso dalla corrente, l'elettricità non si porta alla superficie come l'elettricità di tensione, e come fa in parte la scarica della batteria, ma bensì nel suo interno.* Infatti se si forma un arco scaricatore con un sol filo metallico, oppure con un fascio di fili egualmente lunghi e scelti in modo che colla somma delle loro sezioni facciano la sezione del primo filo, si trova che l'azione sull'ago calamitato del fascio dei fili è la

stessa di quella del solo filo grosso; e non di meno la superficie è nei due casi ben diversa.

2. *L'intensità della corrente è la stessa in tutti i punti del circuito, ed è in ragione inversa della lunghezza del circuito medesimo.* Questa legge può dimostrarsi con una coppia termoelettrica, in cui le saldature siano mantenute ad una costante differenza di temperatura, onde la corrente sia pure costante. Supponiamo che il filo metallico unito alla coppia, e facente un solo giro intorno all'ago del galvanometro, abbia un metro di lunghezza, e che la deviazione sia di 5°; se allora si prenderà un filo di 10 metri di lunghezza, facendogli fare 10 giri intorno all'ago del galvanometro, si vedrà che la deviazione non cambierà, e si conserverà sempre di 5°; il che vuol denotare che in questo secondo caso il circuito essendo divenuto dieci volte più lungo, la corrente è dieci volte meno intensa, ma perchè ha girato dieci volte intorno all'ago del galvanometro, vi ha prodotto lo stesso deviamento, ossia è sembrata della stessa intensità.

3. *L'intensità della corrente è in ragion diretta della sezione e della conducibilità del filo che la trasmette.* Esperimentando con fili dello stesso metallo e della stessa lunghezza, ma di un diametro diverso, è facile scoprire, usando una medesima pila, che la corrente ottenuta è tanto meno intensa quanto più è sottile il filo adoperato. Potrebbe dirsi, in altri termini che la resistenza che oppone al passaggio della corrente la materia del circuito è tanto più grande quanto più il filo è lungo e sottile.

Indipendentemente però dalla lunghezza e dal diametro del filo, l'influenza che ha il circuito a indebolire l'intensità della corrente varia notabilmente secondo la natura del metallo che lo compone. Così supponendo di avere una certa pila e di formare il circuito con fili di diversi metalli, tutti però eguali di diametro e di lunghezza, si troverebbero delle correnti di una intensità molto diversa fra loro a seconda della maggiore o minore conducibilità dei diversi metalli per la corrente elettrica. Nel quadro seguente abbiamo indicato i numeri che rappresentano la conducibilità dei diversi metalli per la corrente, riferita a quella del mercurio espressa con 100.

Nomi dei metalli	*Conducibilità*
Palladio . . .	5791
Argento . . .	5152
Oro	3975
Rame	3838
Rame rincotto .	3842
Platino. . . .	855
Ferro	700
Mercurio . . .	100

Dobbiamo notare che la conducibilità dei metalli è nota-bilmente modificata dalla temperatura. Per il ferro, da 0° a + 100° *C* la conducibilità diminuisce nel rapporto di 12 a 8, e per il rame la variazione è di 91 a 64.

Grandissima è la differenza di conducibilità fra i metalli e i liquidi. La soluzione satura di solfato di rame, che è uno dei migliori conduttori liquidi, ha tuttavia una conducibilità, che è sedici milioni di volte minore di quella del rame. L'aumento di temperatura produce sulla conducibilità dei liquidi un effetto contrario a quello esercitato sui metalli. A 100° *C*, la conducibilità dei liquidi diviene tre o quattro volte maggiore di quella posseduta a 0°.

Un caso assai singolare ed importante di conducibilità per la corrente elettrica è quello offerto dalla terra. Se si fosse dovuto giudicare di questa conducibilità da quella delle materie che la compongono, si sarebbe stimata assai piccola, poichè non avrebbe potuto attribuirsi se non all'acqua che in quantità più o meno grande vi si trova alle varie profondità e nei diversi strati. Infatti formando dei cilindri di argilla e inserendoli nel circuito della pila, si vede la corrente soffrire una grandissima diminuzione d' intensità ancorchè i detti cilindri sieno molto grossi e corti. E se si rinnuova l' esperienza dopo che quei cilindri hanno perduta per evaporazione una parte della loro acqua, si trova l' intensità della corrente viepiù diminuita; e se finalmente si usano dei cilindri di argilla interamente asciutta, o di terra cotta, si troverà la loro conducibilità tanto diminuita, da essere presso che nulla. Qualora però si tenti la conducibilità del suolo, immergendo in

due pozzi od anche in due buche profonde poche braccia le du
estremità del filo del circuito, essa trovasi grandissima ed ass
maggiore di quella de' metalli. L'esperienza ha dimostrato cl
formando colla pila un circuito misto, composto cioè di u
filo metallico e di uno strato di suolo, l'intensità della co
rente non subisce alcuna diminuzione, qualunque sia la lu
ghezza di questo strato. Questa verità fu in questi ultimi tem
dimostrata usando degl' intervalli di terreno lunghi varie cen
tinaja di miglia, nei quali casi si trovò che la resistenza pr
sentata alla corrente elettrica da uno strato di suolo lungo un
braccio, od anche meno, non era diversa da quella di un
strato lungo molti milioni di braccia. Nè si trovò differenz
secondo la varia natura dei terreni, e non si riscontrò neces
sario di adoperare dei pozzi molto profondi, nè d'immerger
in essi lastre metalliche molto estese per formare le estremit
del circuito, onde ottenere questo resultato.

Bene stabilita coll'esperienza l'ottima conducibilità dell
terra, restava a stabilirne la causa. Varie sono le opinioni in
torno a ciò. Alcuni opinano abbia la terra un modo partico
lare di condurre l'elettrico, ma egli è più razionale l'ammet
tere, che essa agisca siccome un conduttore la cui sezione è
infinitamente grande, ed in cui per conseguenza la conduci-
bilità è infinita. Vedremo, parlando della telegrafia elettrica
di quanta importanza sia questa grande conducibilità della
terra.

4. *L'intensità della corrente elettrica è direttamente propor-
zionale alla somma delle forze elettro-motrici del circuito, ed in
ragione inversa della resistenza totale di tutte le parti del cir-
cuito stesso.* Questa legge fu trovata teoricamente da Ohm, e
fu da lui espressa con questa formola semplicissima $F = \frac{E}{R}$
in cui E è la forza o le forze elettro-motrici, R le resistenze,
F l'intensità della corrente. Per forza elettro-motrice dobbia-
mo intendere qualsiasi cagione atta a produrre e a porre in
movimento l'elettricità, e non dobbiamo attribuirle unica-
mente il significato che le dava il Volta. Per resistenza totale
del circuito deve intendersi con Ohm la somma di tutte le
resistenze che incontra la corrente, sia negli strati liquidi

nelle parti metalliche della pila stessa, come nel filo in-
erpolare.

Si deduce da questa legge, che se facciamo astrazione dal
lo interpolare, e consideriamo una pila formata di più cop-
ie perfettamente eguali, la intensità della corrente crescendo
a una parte col numero delle coppie e la resistenza dall'al-
ra nella medesima ragione, ne segue che infine la intensità
ella corrente della intera pila eguaglia quella di una sola
oppia. Ciò per altro va inteso, come abbiamo premesso, nel
aso che i poli della pila fossero messi ad immediato contatto,
ssia supponendo il circuito formato dalla sola pila; ma se i
oli di questa si congiungano mercè altri corpi conduttori, fa
'uopo tener conto della loro resistenza, ed allora la quantità
ella corrente di una coppia non potrà più dirsi eguale a
uella della intera pila. Se si avranno due pile di un numero
ifferente di coppie, e ad ambedue aggiungeremo la stessa re-
istenza, è chiaro che la diminuzione che ne risulterà nella
ntensità delle correnti, sarà tanto minore quanto più detta
esistenza sarà piccola rispetto alle resistenze interne delle
ue pile. Perciò questa diminuzione sarà assai minore nella
ila in cui il numero delle coppie sarà maggiore. Suppponia-
no infatti che la resistenza del conduttore interposto sia
spressa da r; la intensità della corrente di una coppia sarà
$F = \frac{E}{R + r}$, e quella di una pila di un numero n di coppie
arà $F\,n = \frac{n\,E}{n\,R + r}$. Ora è chiaro che il valore delle due
razioni è diverso, e che quanto più n è grande, la seconda
razione avrà diminuito tanto meno della prima. Si deduce
la ciò che se il circuito interpolare è lunghissimo, e tale che la
esistenza interna delle pile possa trascurarsi, l'intensità della
orrente diventa in questo caso proporzionale al numero delle
oppie. Così avviene come vedremo, nel circuito dei telegrafi
lettrici.

Ma come si determina la *resistenza interna* della pila, o
uella di un conduttore interpolare qualunque? Cotesta resi-
tenza si riferisce ad una unità, la quale consiste nell' unità
li lunghezza di un filo metallico di un determinato diametro,

per esempio un metro di filo di rame del diametro di un millimetro. Perciò si determina a quanti metri di questo filo equivale la resistenza interna della pila o del conduttore interpolare, e si ha così ciò che dicesi *la lunghezza ridotta* di queste resistenze. Per giungere a siffatte determinazioni Wheatstone ha fatto uso di uno strumento da lui chiamato *reostato*. Ecco in che consiste: *A* e *B* sono due cilindri (*Tav.* II, *Fig.* 56) il primo di ottone ed il secondo di legno, mobili entrambi intorno ai loro assi mercè un manubrio che si applica all'uno o all'altro. Il cilindro di legno è fornito di una scanalatura ad elica, e termina in *a* con un anello metallico al quale è congiunto un estremo di un filo metallico o di ottone lungo 40 metri. Questo filo si avvolge per un tratto più o meno lungo nella scanalatura del cilindro di legno, quindi passa sul cilindro metallico *A*, vi si avvolge replicatamente, e va quindi a fissarsi all'estremità del medesimo. Finalmente due viti di pressione *n* ed *o*, le quali tengono fissi i conduttori della corrente che vuolsi osservare, comunicano per mezzo di due lamine di acciajo, una col cilindro di ottone *A*, l'altra coll'anello *a*. Se dunque una corrente entra per *o*, dovrà percorrere tutta la lunghezza della porzione del filo che si trova nel solco ad elica del cilindro di legno, dal quale passando sul cilindro metallico verrà all'altro polo della pila, senza essere astretta a percorrere la rimanente lunghezza del filo avvolta sopra questo secondo cilindro. E siccome facendo rotare opportunamente il cilindro *B* si avvolgerà sul medesimo maggior porzione di filo, ed invece facendo rotare il cilindro *A* si farà rimanere minor porzione del filo sul primo, si potrà obbligare la corrente a percorrere quella porzione di filo che piacerà, e quindi le si potrà opporre quella resistenza che vorremo. Onde conoscere quale lunghezza di filo si è interposta nel circuito, vi sono due indici che percorrono due quadranti allorquando i cilindri ruotano, e dal numero de' gradi che indicano si ha la misura richiesta.

Ciò premesso, supponiamo che nel circuito di una pila, si trovi un galvanometro ed un conduttore di cui si voglia misurare la resistenza, ossia la lunghezza ridotta: dopo aver notato la deviazione del galvanometro, si toglie il conduttore

dal circuito e vi si sostituisce il reostato avvolgendo sul cilindro di legno tanto filo che basti per avere lo stesso deviamento nel galvanometro. La lunghezza di questo filo sarà appunto la resistenza che si cercava, ossia la lunghezza ridotta del conduttore.

Per conoscere la lunghezza ridotta del filo del galvanometro si scelgono due coppie che diano la corrente della stessa intensità, ossia che generino la stessa deviazione dell'ago; notata questa deviazione si mettono l'una presso l'altra, e si chiude il circuito col galvanometro e col reostato; la lunghezza del filo di questo, necessaria perchè l'ago del galvanometro devii egualmente di prima, denoterà la lunghezza ridotta o la resistenza del galvanometro.

Volendo poi conoscere la lunghezza ridotta della interna resistenza della pila, dopo di aver chiuso il circuito col galvanometro e col reostato, si uniscono ai capi del galvanometro quelli di un altro filo di egual resistenza, onde l'intensità della corrente sia ridotta a metà. Allora affinchè il galvanometro possa dare la stessa indicazione di prima converrà che la lunghezza ridotta del circuito sia ridotta a metà, e si diminuirà la lunghezza del filo reostatico fino a che il galvanometro dia la stessa indicazione che aveasi prima di diminuire l'intensità della corrente, ed allora è chiaro che la lunghezza ridotta sarà la metà di quello che era prima; ma quella del galvanometro e del reostato sono note; si ricaverà quindi facilmente quella della pila.

Volendo paragonare fra loro due elementi voltiani o due pile qualunque, basterà adoprare circuiti di varia lunghezza onde ottenere sempre la stessa deviazione al galvanometro. È evidente che le forze elettromotrici saranno proporzionali alle lunghezze dei circuiti interposte.

La legge di Ohm, verificata dall'esperienza, ha servito a spiegare con tutta l'evidenza le differenze presentate dalle varie pile. Infatti deve avvenire che accrescendo egualmente la lunghezza del circuito di due diverse pile, se ne ottengano anche degli effetti molto diversi fra loro, quantunque in origine la loro corrente fosse egualmente intensa. Si abbiano, a cagion d'esempio, due pile, una cioè termoelettrica e quindi formata

interamente di sostanze metalliche, e un' altra idroelettrica, di zinco cioè e di rame immersi nell'acqua. Quantunque da queste due pile possa aversi una corrente della stessa intensità con un dato circuito, sarebbe però erroneo il credere che le due pile abbiano l'istessa forza elettromotrice. Ed infatti nella pila termoelettrica essendo il circuito interno tutto metallico, la sua corrente ha da vincere una resistenza molto minore di quella della pila col liquido. La forza elettromotrice di questa seconda dev'essere per conseguenza più grande di quella della prima, nel rapporto stesso delle respettive resistenze. L'esperienza ha dimostrato che in una certa pila termoelettrica di bismuto e di rame, la resistenza essendo espressa da 1, nella pila idroelettrica di rame e zinco, la resistenza era 95: nello stesso rapporto di 1 a 95 sono per conseguenza anche le forze elettromotrici delle due pile. Qualora si allunghi egualmente il circuito di queste due pile ne deve resultare una grande differenza nella forza delle due correnti. Aggiungendo una unità di resistenza alla pila termoelettrica, la resistenza totale diventa doppia, mentre nella pila idroelettrica l'aumento della resistenza è piccolissimo, essendo cioè di $\frac{1}{95}$.

Teoria di De la Rive sull'azione delle pile idroelettriche. De la Rive ammettendo esclusivamente le azioni chimiche come causa dello svolgimento dell'elettricità nelle pile idroelettriche ha dato una teoria delle medesime, la quale si accorda perfettamente colle leggi ora esposte. Egli opina che in una pila composta di varie coppie, la elettricità che si svolge nelle coppie intermedie si neutralizzi incessantemente, e solo si trasporti in corrente quella che si raccoglie nelle cellule estreme, e però la quantità di elettricità che si ottiene da una pila di molte coppie è pari a quella che si avrebbe da una coppia sola; ma non così è della tensione, perocchè le molte coppie impediscono alle tensioni polari di neutralizzarsi, per la resistenza che oppongono al passaggio dell'elettrico, e quindi lo rendono atto a superare più grandi resistenze e ad attraversare più lunghi circuiti. Onde quanto più le coppie sono numerose e il liquido è cattivo conduttore, tanto maggiore è la tensione ai poli. Questa tensione poi deve andare scemando verso il mezzo della pila in cui deve diventare nulla.

La forza della corrente di una pila di cui il circuito interpolare è un filo metallico può essere espressa dalla formula

$$F = \frac{n\,E}{\frac{n\,R\,D}{S} + \frac{r\,l}{s}}$$

nella quale E è la forza elettromotrice di un solo elemento, n il numero degli elementi, R la resistenza specifica del liquido, D la grossezza dello strato liquido o la distanza fra una lamina e l'altra, S la sezione del liquido, r la resistenza specifica del filo metallico, l la sua lunghezza, s la sua sezione.

Da questa formula si deducono le seguenti leggi relative alla energia delle pile idroelettriche.

1.° La forza elettromotrice di un circuito varia col numero degli elementi e colla natura dei metalli e dei liquidi di ogni elemento, essendo proporzionale alla forza delle affinità chimiche che sono in azione, e non dipendendo minimamente dalle dimensioni di ognuna delle loro parti;

2.° La resistenza di ogni elemento è direttamente proporzionale alla distanza a cui si trovano le lamine l'una dall'altra e alla resistenza specifica di questo liquido, e inversamente proporzionale alla superficie delle lamine in contatto del liquido;

3.° La resistenza del filo congiuntivo è inversamente proporzionale alla sua sezione;

4.° Infine il massimo effetto di una data pila, il cui circuito è chiuso da un arco di una certa resistenza, è quando la resistenza della pila eguaglia quella dell'arco.

Fenomeni di tensione della pila. La tensione di una pila è la tendenza della elettricità accumulata alle sue estremità a svilupparsi e a vincere gli ostacoli che si oppongono alla sua diffusione. Allorquando il circuito di una coppia o di una pila voltaica non è chiuso, possono dal medesimo ottenersi dei fenomeni rimarchevoli di tensione elettrica. Quando parlammo della teoria della forza elettromotrice supposta dal Volta, dicemmo come era possibile caricare con una o più coppie, sia il condensatore sia una bottiglia di Leida. Allorquando si pongono a contatto le estremità dei reofori di una pila formata da un certo numero di elementi, si vede scoccare una scintilla, ed un'altra pure si produce quando si staccano l'uno dall'altro

i due reofori. È in queste scintille che consiste il principale fenomeno di tensione delle pile. Esso adunque manifestasi nell' istante in cui la corrente comincia a circolare ed in quello ancora in cui cessa. La circostanza principale da cui dipende la tensione di una pila consiste nel numero dei suoi elementi. Da uno o da pochi elementi riuniti difficilmente si ottiene la scintilla; invece da una pila di un gran numero di coppie le scintille che ottengonsi sono tanto più lunghe e numerose quanto maggiore è il numero di esse. Con otto o dieci coppie di Bunsen si ottengono dei brillanti fiocchi luminosi, quando si faccia comunicare uno degli elettroidi con una lima di ferro grossolana, e scorrere l'altro sulle scabrosità della medesima.

Le pile termoelettriche, a motivo della debolissima loro tensione, non danno scintille: non di meno l'Antinori rinforzando la loro tensione con artifizi dei quali diremo il principio trattando delle correnti d' induzione, ottenne qualche scintilla anche da esse.

Non devesi confondere la tensione di una pila colla *quantità* di elettricità che essa può sviluppare. La prima dipende come abbiamo detto, specialmente dal numero delle coppie, mentre la seconda, quando le altre circostanze siano identiche, dipende dalla superficie delle coppie. Quanto più grande è questa superficie, tanto maggiore, a tensione eguale, è la quantità di elettricità che circola nella pila. Questa quantità cresce anche colla conducibilità del liquido interposto nelle coppie; la tensione al contrario è indipendente dalla natura di questo liquido.

Correnti derivate. Se si applicano le due estremità di un arco metallico sopra due punti di un circuito percorso dalla corrente elettrica è chiaro che una porzione della corrente passerà nel medesimo e circolerà attraverso di esso. Questa corrente prende il nome di *derivata*, e l'arco aggiunto quello di *circuito di derivazione*. La spartizione della corrente primitiva nei due circuiti dipende dalla legge della resistenza dei circuiti. La porzione di corrente che abbandona il circuito primitivo e passa nel circuito derivato è necessariamente tanto più grande quanto maggiore è la resistenza della porzione del circuito primitivo compresa tra le estremità del derivato, e quanto minore è la resistenza di quest' ultimo. Quindi è che

le correnti derivate sono proporzionali alla sezione ed alla conducibilità del filo di derivazione, alla distanza dei punti di derivazione ed alla resistenza dell'intervallo del circuito primitivo che separa questi punti.

3.° *Effetti delle correnti elettriche.*

Gli effetti che la corrente elettrica produce nel suo passaggio attraverso i corpi si distinguono in fisici, meccanici, chimici e fisiologici.

1.° *Effetti fisici.* Gli effetti fisici, i quali si dividono in calorifici e luminosi, dipendono principalmente dalla quantità di elettricità circolante nella pila, e per conseguenza dalla superficie delle coppie. Gli effetti chimici al contrario, come i fisiologici, dipendono dalla tensione e per conseguenza dal numero delle coppie.

Fenomeni calorifici. Cominceremo dai fenomeni calorifici, ossia di riscaldamento. Una corrente voltaica che attraversi un filo metallico produce gli stessi effetti della scarica di una batteria: il filo si scalda, diventa incandescente, si fonde o si volatilizza secondo che è più o meno lungo e di maggiore o minor diametro. Facendo passare la corrente in fili metallici di diametri e di lunghezze eguali ma di differenti sostanze, Children costatò che si scaldano maggiormente quelli che hanno minore conducibilità elettrica; e se si prendono fili dello stesso metallo, ma di diametro e di lunghezza differenti, i più lunghi e più sottili sono quelli che più si riscaldano; d'onde conchiuse che gli effetti calorifici della pila sono dovuti alla resistenza che incontra la corrente nell'attraversare i corpi. Con una pila potente si fondono tutti i metalli, anche l'iridio ed il platino che resistono ai più intensi fuochi di fucina. Despretz assicura di aver rammollito ed ottenuto delle tracce di fusione anche sul carbone che è di tutti i corpi il più refrattario, mediante una pila di 600 coppie. I sottili fili di rame, d'oro, d'argento si volatilizzano rapidamente producendo vive scintille di variati colori.

Abbiamo già indicato che gli effetti calorifici dipendono dalla quantità di fluido elettrico che costituisce le correnti

piuttosto che dalla tensione, óssia dipendono più dalla super ficie delle coppie che dal loro numero. Infatti con una sola coppia di Wollaston in cui lo zinco abbia 300 centimetri quadrati di superficie si giunge a fondere un filo sottile di ferro.

In questi ultimi tempi si è proposto di applicare l' istantanea incandescenza prodotta nei sottili fili metallici nel passaggio della corrente, all'accensione delle mine; e molte esperienze tentate in proposito hanno avuto un ottimo successo. Si dispone un sottil filo metallico avvolto a spirale in mezzo alla mina e si fa comunicare mediante un lungo circuito metallico isolato (1) con una conveniente pila, o con altro apparecchio atto a produrre delle correnti elettriche. Non appena ambedue i poli della pila son posti in comunicazione colle due estremità del circuito suddetto, che l' incandescenza della spirale metallica ha luogo, ed in conseguenza l'esplosione della mina.

Edmondo Becquerel e Botto hanno determinato separatamente le leggi relative allo svolgimento di calorico dovuto al passaggio della corrente elettrica attraverso i corpi solidi. Queste leggi sono le seguenti:

1.° *La quantità di calorico sviluppata è in ragione diretta del quadrato della quantità di elettricità che passa in un dato tempo.*

2.° *Questa quantità di calorico è in ragione diretta della resistenza del filo al passaggio della elettricità.*

3.° *Qualunque sia la lunghezza del filo, purchè abbia da per tutto lo stesso diametro e passi in ogni suo punto la stessa quantità di elettricità, l'inalzamento di temperatura è lo stesso in tutta l'estensione del filo.*

4.° *Per una stessa quantità di elettricità, l'elevazione di temperatura è in ragione inversa della quarta potenza del diametro del filo.*

Se si fa passare una corrente elettrica attraverso un arco formato da due fili metallici differenti saldati insieme, il maggior riscaldamento si osserva nella saldatura. Per istudiare

(1) I fili metallici destinati a servire di circuito alle pile, quando vogliono isolarsi dal terreno su cui debbono riposare, si avvolgono in uno strato di guttaperca.

questi fenomeni Peltier si è servito di un mezzo termoscopico delicatissimo che gli ha permesso di fare uso anche di pile non molto forti. Consiste in una coppia termoelettrica di bismuto e antimonio, unita ai capi del galvanometro. Si posa sulla saldatura della coppia il filo metallico percorso dalla corrente, interponendo una lamina qualunque che senza distruggere la propagazione del calore impedisca il passaggio della corrente riscaldante. L'ago del galvanometro indica colle sue deviazioni il riscaldamento comunicatosi alla coppia termoelettrica pel contatto del filo metallico percorso dalla corrente.

Peltier studiando in questa guisa il riscaldamento prodotto su archi di metalli molto diversi, scoperse un fatto singolarissimo, vale a dire che se si fa passare la corrente d'una pila non tanto forte attraverso un arco formato di una verga d'antimonio e di un'altra di bismuto saldate insieme, quando la corrente è diretta dall'antimonio al bismuto v'ha riscaldamento, mentre che se è diretta dal bismuto all'antimonio la saldatura si trova invece *raffreddata*. Se però la corrente è molto intensa, v'ha riscaldamento anche in questo secondo caso, ma sempre in assai minor grado che nel primo. Peltier avea creduto di potere stabilire che eravi raffreddamento in tutti quei casi in cui la corrente passava attraverso la saldatura di due metalli andando dal cattivo conduttore al buono. Ma il Pacinotti ravvicinando questi fenomeni a quelli della corrente termoelettrica che si ha riscaldando la saldatura di due metalli, è giunto a questo resultato generale: *che la corrente voltaica produce freddo quando è mandata in una coppia metallica in quella direzione in cui suole eccitarsi la corrente termoelettrica riscaldando la congiunzione dei due metalli.*

I liquidi pure sono fortemente riscaldati dal passaggio della corrente; ma è in essi assai più difficile determinare esattamente gli effetti calorifici, sia perchè questi corpi hanno un calorico specifico maggiore dei solidi, sia ancora perchè i gas che si svolgono nel passaggio della corrente assorbono una grande quantità di calorico latente. Così per es. nel passaggio della corrente attraverso l'acqua l'elevazione di temperatura

è assai minore al polo negativo che al positivo, perchè al primo si svolge un volume doppio di gas che nell'altro. Edmondo Becquerel, cercando di eliminare le cagioni di errore, ha trovato che nei casi in cui non v'è svolgimento di gas, il calore prodotto dalla corrente nel suo passaggio pei liquidi era sempre, come pei metalli, proporzionale al quadrato della quantità di elettricità e in ragione inversa della conducibilità.

Fenomeni luminosi. Quanto agli effetti luminosi della pila, può dirsi senza tema di errare che essa è la più intensa sorgente artificiale di luce. I fenomeni luminosi della pila si manifestano con scintille o coll'incandescenza delle sostanze che riuniscono i due poli. Abbiamo già detto in quali circostanze si ottengono le scintille più numerose e più brillanti da una pila; parleremo adesso degli effetti luminosi dovuti all'incandescenza dei conduttori traversati dalla corrente. Sono questi i più rimarchevoli e i più grandiosi.

Un filo di platino o di ferro che riunisca i due poli di una potente pila e che sia grosso abbastanza per non essere fuso, diventa incandescente e manda viva luce per tutto il tempo che dura l'azione della pila. Grove propose di applicare questo fenomeno alla costruzione di una *lampada di sicurezza* per i minatori di carbon fossile. Questa lampada dovrebbe consistere in un recipiente o globo di cristallo chiuso da ogni lato, nell'interno del quale per mezzo di due ghiere è teso un filo di platino piegato a spirale. Facendo comunicare le due ghiere metalliche coi reofori di due coppie di Grove o di Bunsen, la spirale diviene talmente incandescente da illuminare uno spazio assai considerevole.

Due coni di carbone scaldati dapprima fortemente in un vaso chiuso, indi lasciati raffreddare, posti l'uno assai vicino all'altro coi loro apici di contro ed in comunicazione coi poli della pila, diventano essi pure incandescenti e diffondono una luce talmente viva che è paragonabile soltanto a quella del sole. Davy è l'inventore di questa bella esperienza, che è stata dipoi ripetuta e variata da molti altri fisici. Egli eseguivala in un globo di cristallo, che abbiamo rappresentato nella *Fig.* 57, *Tav.* II, entro cui faceva il vuoto. I due coni di carbone potevano più o meno avvicinarsi mediante le due aste *A* e *B*,

mobili a sfregamento nelle ghiere del pallone e a cui erano uniti gli elettrodi. La pila che adoprava era formata di 2000 coppie di rame e zinco, e l'effetto luminoso era sorprendente.

L'esperienza riesce anche nell'aria con eguale se non con miglior successo, e può eseguirsi con un apparecchio simile a quello del Davy, facendo uso di un certo numero di elementi alla Bunsen. I due coni di carbone sogliono prepararsi col coke che rimane nelle storte dopo la preparazione del gas illuminante. Nel momento che si chiude il circuito della pila ponendo in contatto le due punte di carbone unite ai reofori, l'elettricità comincia a passare e le due punte divèngono incandescenti. Allora allontanando lentamente le due punte l'una dall'altra, un arco luminoso si forma e persiste anche quando l'intervallo tra le due punte giunge ad essere di varj millimetri (*Fig.* 58, *Tav.* II). Bunsen con una pila di 48 dei suoi elementi ha ottenuto un arco luminoso lungo 7 millimetri; e Despretz con una pila di 600 coppie di Bunsen ne ottenne uno di 183 millimetri.

Quest'arco luminoso non è altro che una specie di conduttore, il quale congiunge i due poli, formato da materia estremamente divisa e luminosa che si stacca dai due coni di carbone. Egli è per questa ragione che dopo un certo tempo i due carboni si trovano alquanto consumati nella loro punta ed anco assai discosti tra loro da non dar più passaggio all'elettricità, per cui il fenomeno luminoso s'interrompe, ed è necessario nuovamente accostarli per riprodurlo. Nell'aria il consumo dei carboni è maggiore che nel vuoto, imperocchè le loro estremità, quantunque lentamente, ardono per l'ossigeno atmosferico. Tutti i fisici, incominciando da Davy, hanno notata una differenza nei fenomeni che presentano i due poli di carbone durante l'arco luminoso. Si vede generalmente che le particelle di carbone si staccano a preferenza dal polo positivo, e vi generano una cavità, mentre si raccolgono in gran parte sul polo negativo il quale aumenta alquanto di volume. La *Fig.* 59, *Tav.* II, rappresenta l'immagine dei due poli di coke, progettata col mezzo di lenti sopra un diaframma entro una camera oscura, nel momento in cui si produce il fenomeno luminoso. I globuli che nella figura si scorgono su i due car-

boni provengono dalla fusione di una piccola quantità di silice che contengono. Quando incomincia a passare la corrente diventa luminoso pel primo il carbone negativo, ma il positivo ha la maggior lucentezza, ed è anche quello che si consuma più presto: perciò conviene sceglierlo di maggiori dimensioni.

Un effetto luminoso di tanta intensità quale si è quello ora descritto fece bentosto nascere il pensiero di applicarlo all'illuminazione delle strade e delle piazze. Non v'ha ormai alcuna grande città in Europa, in cui non siasi esperimentata l'illuminazione di qualche piazza o di altro pubblico locale mediante l'elettricità; e l'esperienza ha avuto dovunque un grande successo per la vivacità della luce ottenuta, che di gran lunga ha superato quella di ogni altra sorgente artificiale e il cui splendore ha solo potuto paragonarsi con quello del sole. Ma il grave ostacolo di questa applicazione ha sempre consistito nell'alterazione che soffrono le estremità dei carboni, per cui la luce talora addiviene incerta ed anco talvolta si estingue del tutto. Oggidì per altro si sono immaginati varj meccanismi destinati a render costante la distanza fra le due punte di carbone che vanno via via consumandosi, e con ciò ad impedire che la luce s'indebolisca o si estingua; e sembra che alcuni abbiano dato un ottimo resultato. Uno di questi *regolatori* della luce elettrica è stato immaginato dall'abile costruttore Deleuil, ed è quello che passiamo a descrivere.

L'intiero apparato del Deleuil è composto di un treppiede di ghisa (*Fig.* 60, *Tav.* II) sul quale sono fissati i due carboni ed il regolatore che li mantiene a distanza costante. Il carbone negativo è sostenuto da un'asta metallica che scorre a sfregamento dolce in un sostegno *D*, ma che una volta disposta nel modo opportuno, deve rimaner fissa. Il carbone positivo *F* ascende successivamente per effetto della stessa corrente di mano in mano che la distanza dei carboni tende a crescere. Si ottiene questo resultato per mezzo del regolatore fissato al di sotto del treppiede e rappresentato a parte nella figura 61. Una leva *A* attaccata per un capo ad una molla a spirale *B* può oscillare sopra un pernio *L*; ma i suoi movimenti sono limitatissimi perchè è trattenuta all'altro capo tra le punte di due viti che si dispongono in un modo da permetterle soltanto

un piccolissimo movimento. La leva *A* tende a ruotare in un verso, per effetto della molla *B*, e nel verso contrario per effetto di un'*elettromagnete* *E* (1). Questo pezzo consiste in un cilindro di ferro dolce circondato da un filo di rame coperto di seta, nel quale passa la corrente stessa che va ai carboni. Questo cilindro così disposto ha la proprietà di diventare una potente calamita quando la corrente passa nel filo, ma cessa di esserlo al cessare di questa. Infine una piccola lamina di acciajo fissata all'estremità della leva *B*, si appoggia in *T* sopra piccoli denti disposti a sega lungo l'asta *K* che porta il carbone positivo *P*, e trasmette a quest'ultimo il movimento della leva. Ciò posto, quando la corrente passa con tutta la sua intensità nel filo dell'elettromagnete quest'ultimo attrae un'armatura di ferro *m* fissata alla leva *A*, ed il braccio di leva che è a destra del perno *L* si abbassa e trae seco la lamina *T* senza che questa faccia discendere l'asta *K*, perchè la parte curva della lamina non ingrana nei denti dell'asta se non nell'ascesa. Al contrario se la distanza dei carboni aumenta e quindi la corrente s'indebolisce, non potendo più l'elettromagnete fare equilibrio alla molla *B*, il braccio di leva che si è abbassato precedentemente si rialza, e per mezzo della lamina indicata fa ascendere l'asta *K* di un quarto di millimetro. Avvicinati così i carboni la corrente diviene più intensa e l'elettromagnete agisce di nuovo. Rinnovandosi periodicamente questa serie di movimenti ogni volta che la corrente tende a indebolirsi, la intensità rimane sensibilmente costante. Il pezzo *C* serve a regolare la molla *B*. L'andamento della corrente è indicato sulla figura 60 dalle frecce. Il tubo cilindrico di vetro che circonda i carboni è destinato a difenderli dalle correnti d'aria che li raffredderebbero. Dirimpetto ai carboni trovasi uno specchio concavo metallico *R*, amovibile a piacere, destinato a riflettere parallelamente i raggi luminosi.

(1) Vedremo più innanzi che un' elettromagnete consiste in un pezzo di ferro dolce avvolto da un filo di rame isolato, attraverso del quale si fa passare la corrente elettrica. Durante il suo passaggio il pezzo di ferro dolce diventa una vera calamita capace di attrarre il ferro e l'acciajo; ma tosto che essa cessa, il medesimo ritorna inerte.

2.° *Effetti meccanici.* Porret nel 1816 scoprì che la corren elettrica ha la facoltà di trasportare un liquido dal polo po tivo al polo negativo. Difatto, abbiasi un recipiente di vet diviso in due compartimenti da un corpo poroso, come p. e una membrana di vescica: ponendo dell'acqua in questi con partimenti e facendo pescare in uno il reoforo positivo, n l'altro il negativo di una pila, si vedrà il liquido elevarsi n secondo compartimento e deprimersi nel primo.

Anche Becquerel ha scoperto dei fatti analoghi. Si abbia due tubi di vetro *A* e *B* (*Fig.* 62, *Tav.* II) aperti alle estremit si applichi ad una di queste estremità un tappo di argilla chi dendo con tela gli orifizj, e s'immergano i due tubi pieni acqua in una massa *V V'* dello stesso liquido; quindi si fac passare una corrente introducendo i due reofori nei liquidi d due tubi: si vedrà poco dopo spargersi nella massa liqui l'argilla che comunica col polo positivo.

Un altro effetto meccanico della corrente si è quello trova dal Wertheim. Egli si è assicurato che la corrente elettri produce una diminuzione temporaria nel coefficiente dell'el sticità dei fili che percorre, e ciò per un'azione propria quindi indipendente dalla diminuzione che proviene dalla el vazione di temperatura. Questo effetto della corrente è pr porzionale alla sua intensità ed alla resistenza che incont nel filo metallico. È naturale di supporre che un'eguale i fluenza sia esercitata dalla corrente sulla coesione dei fili m tallici che percorre. Egli è certamente a quest'effetto che dovuto il fenomeno che presenta una corda metallica tes fatta vibrare mentre è percorsa dalla corrente, di rendere suono assai più basso di prima.

3.° *Effetti chimici* (1). La corrente attraversando i liqu li scompone. Alcuni corpi si scompongono con correnti as deboli ed altri richiedono correnti molto energiche, ma generale gli effetti chimici vogliono molta tensione. Il prim fenomeno elettrochimico conosciuto fu la decomposizione d l'acqua. Alcuni ne attribuiscono la scoperta ai fisici italia

(1) Per la perfetta intelligenza di quanto esporremo intorno a que soggetto si richiede la cognizione degli elementi della chimica.

'olta e Brugnatelli, altri agl' inglesi Nicholson e Carlisle.)uello che è certo si è che il fatto della decomposizione del- acqua colla corrente, fu tra le prime mirabili proprietà rinve- ute alla pila a colonna del Volta. Allo scopo di ottenere fa- ilmente la separazione dei componenti dell'acqua serve og- idì un apposito istrumento chiamato *Voltametro* e *Voltaimetro*. 'onsiste in un bicchiere di vetro (*Fig.* 63, *Tav.* II) a piede, dal ondo del quale, mercè due sottili fori praticativi, si elevano erticalmente due fili di platino *P* ed *N*, alti due a tre cen- metri. Si riempie il bicchiere di acqua leggermente acidulata on acido solforico, e vi si rovesciano dentro due campanine raduate, di vetro, piene dello stesso liquido, introducendole otto l'acqua del bicchiere. Si dispongono queste campani- e in modo che in ognuna di esse penetri uno dei due fili i platino. Ciò fatto si uniscono le estremità di questi fili che porgono fuori del bicchiere, l'uno al polo o elettrode posi- vo, l'altro al polo o elettrode negativo, di una pila formata a un certo numero di coppie (1). Tosto vedesi un torrente di olle gassose sollevarsi nell' interno delle due campanine par- endo da ognuno dei fili di platino. Se la corrente s' interrom- e, anche lo svolgimento dei gas cessa immediatamente. Se si saminano separatamente i due gas raccolti nelle campanine, i trova che quello svolto al polo positivo è ossigeno puro, e uello svolto al polo negativo è idrogeno puro. Inoltre misu- ando i volumi di questi due gas si rinvengono tali da ripro- urre esattamente l'acqua: in altri termini il volume dell'idro- eno raccolto al polo negativo è doppio del volume dell'ossi- eno raccolto al polo positivo, precisamente nel modo che la himica insegna essere costituita l'acqua.

Il voltametro può essere applicato alla misura della inten- ità delle correnti poderose, imperocchè la quantità in peso in volume degli elementi gassosi in esso separati è propor- ionale alla quantità di elettricità che passa nella corrente.

Le combinazioni dell'ossigeno e dei metalli, cioè gli ossidi etallici si lasciano pure decomporre dalla corrente allorchè ono resi liquidi o per via di soluzione o per via di fusione.

(1) Faraday chiama *anodo* il polo positivo, e *catodo* il polo negativo.

Dagli ossidi così liquefatti si hanno il metallo al polo neg
tivo della pila e l'ossigeno al polo positivo. Le quantità
due corpi, ossigeno e metallo, che in tal guisa si separan
sono sempre tali che possono ricombinandosi riprodurre es
tamente la quantità dell'ossido che è stata decomposta. Un
resultato si verifica facilmente decomponendo colla corre
l'ossido di piombo o quello di bismuto allo stato di fusio
Anche gli ossidi solubili nell'acqua si lasciano decompo
obbedendo a questa stessa legge, e se in qualche caso ap
riscono differenze, esse sono una conseguenza delle azioni c
miche ordinarie che insorgono a complicare il fenomeno. C
allorquando si decompone una soluzione di potassa colla c
rente elettrica, si ha l'ossigeno al polo positivo; e al polo
gativo invece del potassio si ottiene la potassa che si disciog
nel liquido mentre si svolge una quantità equivalente d'id
geno; e ciò non può accadere diversamente perocchè il pot
sio decompone l'acqua a freddo, formando appunto potass
idrogeno. Ora questo idrogeno, che è un *prodotto seconda*
della corrente, è in quantità chimicamente equivalente al p
dotto primitivo della corrente stessa.

Le celebri scoperte di Davy dipendono tutte dall'azio
elettrochimica della corrente. Questo illustre chimico agen
con pile molto energiche, scoprì nel 1807 che le terre e
alcali, creduti fino allora corpi semplici, erano invece co
composti; che la potassa, la soda, la calce ec., erano com
nazioni di ossigeno coi nuovi metalli potassio, sodio, calcio
Con questa importante scoperta fu aperta una nuova era a
chimica.

Gli ossiacidi sono decomposti nella stessa guisa degli ossi
il loro ossigeno si porta sempre al polo positivo, il radic
al negativo. Le combinazioni dell'idrogeno col cloro, coll'jod
col bromo, cioè gli acidi idroclorico, idrojodico ec., sono p
scomposti dalla corrente elettrica. Il cloro, l'jodio, il bro
si sviluppano al polo positivo e l'idrogeno al polo negati

Le combinazioni del cloro, jodio ec. coi metalli, o fuse
disciolte nell'acqua, si lasciano pure decomporre dalla corren
In ogni caso il metallo si separa al polo negativo, e il clo
l'jodio ec. al positivo; ed anche in queste decomposizioni acca

sempre che le quantità così separate di questi corpi sono equivalenti fra loro, vale a dire tali da ricostituire esattamente la quantità della loro combinazione che è stata decomposta. Anche in questi casi vi possono essere dei prodotti elettrochimici secondarj. Così se si decompone colla corrente l' ioduro di potassio sciolto nell'acqua, adoperando come poli i soliti sottili fili di platino, non si ha già il potassio al polo negativo, ma in sua vece la potassa e l' idrogeno, che sono i prodotti dell'acqua scomposta dal potassio. Se invece di usare fili di platino si adoperano fili di ferro o di rame, in luogo di jodio libero si ottiene l' joduro di ferro o di rame.

I composti salini, vale a dire le combinazioni degli acidi cogli ossidi, sono parimente decomposti dalla corrente allorchè sono allo stato liquido, sieno disciolti o sieno fusi. Gli effetti di queste decomposizioni variano però colle affinità chimiche e colla energia delle correnti. Se l'acido e la base del sale sono stabili, vengono soltanto separati, ed allora l' acido si trasferisce sempre al polo positivo, l'ossido al negativo; così è dei solfati, carbonati, e fosfati dei metalli delle prime due sezioni. Se l' acido è poco stabile viene decomposto, ed il suo ossigeno si reca al polo positivo. Se l' ossido è debole, il solo metallo ridotto recasi al polo negativo, mentre l'acido e l'ossigeno dell'ossido si recano al polo positivo: ciò appunto avviene coi sali di piombo, di rame, di argento, ed in generale coi sali delle tre ultime sezioni. Infine, se avviene che siano completamente ridotti l' acido e l'ossido, tutto l'ossigeno si reca al polo positivo mentre i due radicali si trasferiscono all' altro polo.

A dimostrare la decomposizione dei sali operata dalla pila serve un tubo di vetro curvato ad *U*, nel quale si versa una dissoluzione di solfato di potassa o di soda, colorata in azzurro per mezzo dello sciroppo di viole. Nei due rami del tubo s'immergono due lamine di platino, che si pongono poi in comunicazione cogli elettrodi della pila. Se si adoperano tre o quattro coppie di Bunsen si osserva dopo pochi minuti che il liquido contenuto nel ramo comunicante col polo positivo, si colora in rosso, mentre quello del ramo che comunica col polo negativo si colora in verde; onde resulta che l'acido del sale si

è portato al polo positivo e la base al negativo, perchè si s
che il siroppo di viole ha la proprietà di arrossare per l'azion
degli acidi e d'inverdire per l'azione delle basi. È inutile ri
petere che anche nella decomposizione dei sali colla corrente
vi possono essere dei prodotti secondarj come nella decompo
sizione degli ossidi e dei cloruri.

Leggi dell'azion chimica della corrente. - 1.° *La quantit
di una combinazione scomposta dalla corrente è sempre propor
zionale alla quantità d'elettricità che è trasmessa per quell
combinazione.*

Per dimostrare questa legge si costruiscono alcuni voltame
tri simili a quello descritto, e solamente diversi fra loro pe
l'estensione degli elettrodi, per la distanza o grossezza dell
strato liquido e per la maggiore o minor quantità d'acido ag
giunto all'acqua. Si fa passare la corrente di una pila pe
tutti questi voltametri riuniti insieme, cioè posti l'uno di se
guito all'altro. La quantità d'acqua che è scomposta, la quale
è misurata dal volume de' due gas sviluppati, si trova eguale
in tutti i voltametri. Questa quantità dei gas sviluppati benchè
eguale in ogni caso nei diversi voltametri, è però sempre re-
golata dalla quantità che si raccoglie nel voltametro di cui il
liquido ha la minore conducibilità, perchè dipende dalla quan-
tità d'elettricità che può attraversare quel circuito.

Per meglio dimostrare questa legge si possono disporre tre
voltametri simili, in modo che la corrente passi interamente
per uno V, e venga divisa nel suo passaggio per gli altri due
v, v (*Fig.* 64, *Tav.* II). In questo caso la quantità d'acqua
che è scomposta in ognuno dei due voltametri in cui la cor-
rente è la metà, è pure la metà di quella scomposta nel primo
voltametro: se i voltametri fossero tre, la quantità scomposta
in ognuno sarebbe un terzo di quella scomposta nel voltame-
tro in cui la corrente passa intera. Dal che resulta ben pro-
vato che l'azione elettrochimica della corrente è sempre pro-
porzionale alla corrente stessa.

2.° *Quando una stessa corrente attraversa una serie di com-
posti chimici diversi, i pesi degli elementi che si separano stanno
tra loro come gli equivalenti chimici di questi.* Questa legge sco-
perta da Faraday, è detta degli *equivalenti elettrochimici.* Se si

fa passare una medesima corrente nello stesso tempo attraverso l'acqua, il protocloruro di stagno, l'joduro di piombo, l'ossido di bismuto, il solfato di rame ec. ec., si trova che le quantità d'idrogeno, stagno, piombo, bismuto ec. ec. separate sui fili che comunicano col polo negativo stanno fra loro come i numeri che rappresentano gli equivalenti chimici di questi elementi.

3.° *La quantità d'azion chimica da cui nasce la corrente, è equivalente all'azione elettrochimica o di decomposizione, che la medesima induce.* Questa legge è stata da noi già indicata trattando delle pile a forza costante. Diciamo adesso più esattamente in che consiste. Si prenda una pila ad un solo o a più elementi, formata con zinco amalgamato e il cui liquido consista in acqua acidulata con acido solforico ovvero in acido cloridrico, e se ne faccia passare la corrente attraverso un voltametro. Si troverà sempre che la quantità di zinco disciolta in ogni coppia di questa pila, è sempre equivalente alle quantità di zinco e idrogeno raccolte nel voltametro. Se la corrente si facesse passare attraverso una soluzione di solfato di rame si troverebbe che sul polo negativo della pila si precipiterebbe all'incirca tanto rame quanto zinco si discioglie in ogni coppia, ed infatti gli equivalenti di questi due metalli sono presso a poco gli stessi. Si vede adunque che tanta è l'azion chimica che ha dato origine alla corrente quanta è quella che questa è capace di produrre.

Teoria elettrochimica dell'affinità. Una delle più rimarchevoli deduzioni dello studio dei fenomeni chimici dell'elettricità, si è la teoria elettrochimica immaginata da Berzelius per ispiegare i fenomeni dell'affinità. Abbiamo visto che l'idrogeno, i metalli, le basi, separandosi dalle loro combinazioni sotto l'azione della corrente si sviluppano sempre al polo negativo, mentre l'ossigeno, il cloro, l'iodio, gli acidi si ottengono sempre al polo positivo. Berzelius perciò ammesse che ai corpi appartenessero stati elettrici contrarj a quello del polo a cui si portano. Inoltre suppose che l'affinità fosse l'effetto dell'attrazione degli stati elettrici appartenenti alle molecole elementari; le combinazioni resultassero dalla neutralizzazione di questi medesimi differenti stati elet-

trici; e la luce ed il calore che si manifestano nelle combinazioni chimiche altro non fossero che la luce ed il calore stesso che sono ordinariamente l'effetto della scarica di contrarj stati elettrici.

Il Berzelius ordinò tutti i corpi semplici secondo le loro tendenze elettriche, e quindi secondo il grado della respettiva loro affinità, in modo che ciascun corpo preso nella serie è *elettronegativo* rispetto a quelli che lo seguono, ed *elettropositivo* rispetto a quelli che lo precedono; e la loro affinità è tanto maggiore, quanto più sono lontani tra loro. L'ossigeno, il cloro, l'jodio sono in principio della serie, mentre il sodio, il potassio, l'idrogeno sono alla fine.

Si sono opposte a siffatta dottrina non poche obiezioni. Si dice p. es., come mai è possibile che le molecole dei corpi posseggano una sola elettricità o almeno ne abbiano una più forte dell'altra? Come intendere che uno stesso corpo sia ora elettropositivo ed ora elettronegativo? Come si potrà spiegare la coesione che unisce le molecole similari, e l'attrazione stessa che tiene uniti gli elementi di un composto dopo la loro combinazione? Si è tentato di eliminare queste difficoltà creando altre ipotesi; ma ogni teoria che ha bisogno dell'appoggio di molti principj ipotetici è sempre d'incerto valore. Sono però rimaste nella scienza le denominazioni di corpi elettropositivi ed elettronegativi.

Davy, partendo dalla teoria elettrica dell'affinità, immaginò un metodo ingegnoso per difendere il rame dei vascelli dalla corrosione che soffre pel contatto dell'acqua marina. L'Ammiragliato inglese avea richiamato l'attenzione del celebre chimico su questo soggetto, ed egli riflettendo che il rame veniva corroso per effetto della propria ossidazione, e quindi per agire da corpo elettropositivo rispetto all'ossigeno, pensò che ciò non avrebbe più luogo, allorquando si riuscisse a fare agire il rame da corpo elettronegativo. Ma ciò era facile ad eseguirsi, poichè bastava porlo, come Volta avea insegnato, a contatto del zinco. L'esperienza corrispose al ragionamento, poichè avendo egli immerso nell'acqua del mare una lamina di rame isolata, ed un'altra unita ad una lamina di zinco, osservò che mentre la prima era bentosto corrosa, la seconda

si conservava intatta per lungo tempo. Fecesi adunque l'applicazione dell'esperienza di Davy al rame dei vascelli saldandovi dei pezzi di zinco, e si giunse realmente a preservarlo dalla corrosione, ma disgraziatamente si andò incontro ad un altro danno, forse peggiore del primo. Ecco in che consiste. Le lamine di rame unite a coppia collo zinco, immerse nell'acqua del mare, vengono a costituire il polo negativo della coppia, onde se l'ossigeno e gli acidi non vi esercitano più la loro azione, vi si depositano però gli ossidi insolubili de' composti salini dell'acqua marina, come sarebbero la calce e la magnesia, cosicchè la fodera metallica de' vascelli si ricuopre ben presto di grosse incrostazioni calcaree a cui attaccansi innumerevoli conchiglie, e il bastimento per la maggior resistenza che incontra nell'acqua, viene ingombrato nei suoi movimenti e reso più lento. Perciò l'Ammiragliato decise non potersi adottare l'espediente di Davy se non per i bastimenti che stanno fermi nei porti. Il processo di Davy è tuttavia sempre di grande importanza, e si applica frequentemente allorchè si hanno delle verghe o dei tubi di rame o di ferro immersi nell'acqua o nel terreno umido; così per quella porzione della verga del parafulmine che pesca nell'acqua, si usa sempre di difenderla dall'ossidazione coll'unirvi un pezzo di zinco.

Teoria di Grotthus sulle decomposizioni elettrochimiche. Il modo con cui Grotthus spiega la decomposizione chimica che la corrente induce nei composti binarj liquidi e la separazione ai poli dei loro elementi, è quello che più si accorda colla esperienza. Suppone questo fisico che sotto l'influenza delle elettricità contrarie degli elettrodi della pila producasi nel liquido in cui esse immergonsi, una serie di decomposizioni successive da un polo all'altro, in modo che i soli elementi delle molecole estreme non ricomponendosi restino liberi a contatto dei poli. Allorquando, per esempio, l'acqua è attraversata da una corrente elettrica abbastanza energica, la sua molecola *a* che trovasi in contatto del polo positivo essendo formata di ossigeno e d'idrogeno che è elettropositivo, si orienta come mostra la *Fig.* 65, *Tav.* II; cioè l'ossigeno viene attratto e l'idrogeno respinto. Allora mentre l'ossigeno di questa molecola

recasi sul polo positivo, l'idrogeno messo in libertà si unisc immediatamente all'ossigeno della molecola *b*; poi l'idrogen di quest'ultima si unisce all'ossigeno della molecola *c*, e cos di seguito fino al polo negativo dove gli ultimi atomi d'idro geno sono messi in libertà e si recano al polo. La stessa teo ria si applica agli ossidi metallici ed ai sali.

Con questa teoria s'intendono facilmente i seguenti feno meni studiati dal celebre Davy. Si prendano tre capsule o tr bicchieri pieni di liquido e si facciano comunicare tra lor per mezzo di tubi ricurvi pieni di acqua: in uno degl estremi vasi si ponga una soluzione salina; negli altri du dell'acqua; e s'immerga il polo negativo di una pila nella so luzione salina, ed il positivo nel terzo estremo vaso. La de composizione del sale avrà luogo, e l'acido comparirà nell capsula in cui pesca il polo positivo, avendo perciò traversat la capsula intermedia. Nondimeno se tingeremo con tornasol l'acqua delle tre capsule, non vedremo affatto arrossare quell del mezzo, mentre si farà rossa nella terza in contatto de polo positivo. Ciò significa che nel passaggio della corrente il sale non è decomposto o almeno vi è continuamente ricom posto nelle parti intermedie ai poli, mentre è solo a quest estremi che i suoi componenti rimangono liberi. Ma se i luogo della tintura di tornasole si pone nella capsula inter media la soluzione di un ossido, come p. es. la barite, co cui l'acido solforico abbia una forte affinità, si vede l'acid solforico comparire in questa capsula e produrvi un abbon dante precipitato bianco che è il solfato insolubile di barit In questo caso, l'affinità della barite vince l'attrazione del pol positivo, sicchè l'acido non vi giunge; e si può dire che è l barite che fa da polo.

Correnti secondarie. Se mediante due fili o lamine di pla tino facciamo passare una corrente attraverso una soluzion salina, e dopo interrotto il circuito congiungeremo gli anzi detti fili o lamine co'capi del galvanometro, si vedrà passar una corrente diretta per verso contrario di quella della pila vale a dire che ora la corrente uscirà per quel filo per cu prima entrava: questa corrente è detta *secondaria*, ed i fili lamine che sieno, dicesi che hanno acquistato la *polarità s*

condaria. Ora è chiaro che queste polarità doveano generare un'opposizione alla corrente primaria quando passava pel medesimo circuito, e quindi debbono fare lo stesso negli elementi della pila, i quali pure debbono col passaggio della corrente primaria nello stesso modo *polarizzarsi*, siccome sogliono dire i fisici. Non è poi necessario per avere la corrente secondaria che le lamine o i fili di platino restino nello stesso liquido in cui erano quando passava la corrente primaria; possono immergersi in un altro diverso e dare gli stessi resultati. La corrente secondaria si può avere anche con pile di pochissima forza.

La causa delle correnti secondarie è riposta in ciò, che sull'elettrodo positivo resta fissata o aderente una parte del corpo elettronegativo e sull'elettrodo negativo una parte del corpo elettropositivo, per cui cessata la corrente primaria questi due corpi si riuniscono di nuovo e danno luogo ad una corrente che va in direzione contraria; e difatto se si hanno due lamine di platino unite ai capi del galvanometro, e se una delle lamine si bagna in un liquido acido, l'altra in un alcali, e poi così bagnate s'immergono nell'acqua, v'ha una corrente diretta nello stesso verso di quella secondaria anzidetta.

La produzione delle correnti secondarie dà la spiegazione della *pila secondaria di Ritter*. Questa pila consiste in una cassetta rettangolare di legno verniciato, e divisa in tanti compartimenti da lamine di platino, d'argento, d'oro, rame ec.: si empiono di una soluzione salina o di un liquido qualunque tutti questi compartimenti, e si fa passare attraverso alla cassetta la corrente di una pila di un numero assai considerevole di elementi, immergendo i poli di questa negli estremi compartimenti di essa. Interrotto il passaggio della corrente, la pila secondaria dà per un certo tempo tutti gli effetti della pila riunendo con un arco metallico i suoi due estremi. La nuova corrente è diretta nel verso contrario di quella della pila, ed è generata dai prodotti della decomposizione della soluzione salina, raccoltisi sulle diverse facce delle lamine metalliche della pila secondaria.

Ma la corrente secondaria si produce anche nel caso in cui la corrente primaria non passa attraverso una soluzione sa-

lina, e semplicemente attraversa l'acqua acidulata con aci
solforico. In questo caso non v' ha separazione di acido e
alcali a cui attribuirne la produzione; ma il Matteucci ne
riscontrata la causa nell'accumulazione dell'ossigeno e d
l'idrogeno prodotti dalla scomposizione dell'acqua, sulle d
lamine di platino o di altro metallo mediante le quali si
passare la corrente. E difatto si prendano due lamine di pl
tino unite ai fili del galvanometro; se ne tenga immersa u
nel gas idrogeno, l'altra nell'ossigeno, poi si estraggano se
pre unite al galvanometro e si tuffino nell'acqua pura: tos
si vedranno gl'indizj di una corrente che nel liquido è dire
dall'idrogeno all'ossigeno. La corrente che si produce in qu
sto caso ha la stessa origine di quella della pila a gas di Grov

*Applicazioni degli effetti chimici della corrente. — Galv
noplastica o elettro-tipia.* Una delle più belle applicazio
dell'azione elettrochimica della corrente si è l'arte del
galvanoplastica, vale a dire della preparazione di med
glie, bassirilievi ed anche statue, mediante varj metalli,
specialmente il rame, precipitati lentamente dalle loro sol
zioni mercè l'azione continuata della corrente elettrica. L'i
venzione di quest'arte è dovuta a Jacobi di Pietroburgo
all'inglese Spencer. Questi fisici avendo osservato che facen
passare la corrente attraverso alle soluzioni metalliche, il m
tallo che in molte circostanze si separava al polo negati
della pila era in strati o in lamine resistenti, ebbero l'id
di farlo depositare su di un pezzo metallico formato dal
stampo di una medaglia in modo da ottenerne la perfetta
produzione in rilievo. I loro tentativi furono coronati di su
cesso, e a poco a poco l'arte della galvanoplastica si è perf
zionata ed estesa ad un altissimo grado. Noi cercheremo ade
di esporne il processo con sufficiente ampiezza, da porre
grado un lettore intelligente di riuscire immediatamente n
suoi tentativi. Parleremo successivamente della preparazio
degli stampi, di quella delle pile e degli apparecchi di ele
trotipia. Soglionsi usare diversi corpi per formare gli stamp
a tutti però è preferibile, specialmente per i piccoli, pezzi
lega di Darcet ottenuta con otto parti di bismuto, tre di stag
e cinque di piombo, la quale si fonde al di sotto della te

peratura dell'acqua bollente. Nel fondere insieme i metalli coi quali si compone, si cercherà d'impedirne l'ossidazione mantenendo su di essi un piccolo strato di grasso fuso. Si colerà la lega fusa in una cavità conveniente fatta in un piano di marmo, od anco in un'adattata scatola di carta. Si lascia alquanto raffreddare, e quando è prossima a solidificarsi vi si preme sopra la medaglia che dev'essere alquanto riscaldata. Lo stampo così ottenuto dovrà essere lavato con un po'd'alcool o d'etere solforico onde toglievi ogni traccia di materia grassa. Non rimane allora se non che fissare un filo di rame sul di dietro dello stampo, lo che si fa facilmente scaldando un grosso filo di rame alla fiamma di una lampada ad alcool e indi calcandolo entro lo stampo stesso. La lega si fonde intorno al filo; poscia nel raffreddarsi si solidifica, e lo fissa convenientemente. Prima di essere adoperato lo stampo ha bisogno di esser ricoperto, insieme al filo metallico che lo sostiene, di uno strato di vernice o di cera in tutte quelle parti sulle quali si vuole che il rame non si precipiti, vale a dire sul di dietro e sull'orlo della medaglia.

Allorquando le medaglie o i bassi rilievi che vorranno eseguirsi saranno molto grandi, non si adoprerà più la lega fusibile per la preparazione degli stampi, perchè malamente si riesce ad averli esatti operando nel modo che abbiamo indicato sopra una grande estensione, ed inoltre riescono troppo pesanti. Allora si fanno invece di cera, di stearina, o di un mescuglio di queste due sostanze fuse assieme a della piombaggine. Si unge da prima la superficie della medaglia, e dopo averla circondata da un orlo di carta, vi si versano fuse le suddette materie, e si lasciano passare molte ore onde siano ben solidificate prima di distaccare lo stampo.

Si fanno anche gli stampi col gesso, e specialmente pei grandi bassirilievi. Si prepara una pasta di gesso da formare assai fine e di acqua, e si stende con un pennello sul basso rilievo che prima dev'essere stato leggiermente unto. Avendo bassi rilievi di gesso che vogliansi riprodurre in rame, si possono prima imbevere di cera fusa, e quindi ottenerne lo stampo con altro gesso.

Onde rendere gli stampi di cera, di stearina o di gesso capaci di condurre la corrente, conviene rivestirli di una sostanza conduttrice, e a quest'uopo si può usare una foglia d'oro o meglio della piombaggine, la quale si distende minutamente polverizzata per mezzo di un pennello, finchè tutto lo stampo non ha preso la lucentezza stessa della piombaggine. Si fissa infine con un poco di cera un filo metallico sull'orlo dello stampo, e si sparge intorno ad esso della piombaggine onde esser certi che il filo e la superficie preparata dello stampo comunichino insieme. Così preparati gli stampi si applicheranno allo elettrode negativo di una pila, la di cui corrente traversa una soluzione di solfato di rame. A questo punto converrà usare molte avvertenze, affinchè la corrente abbia quel giusto grado d'intensità che si richiede e la soluzione la dovuta densità. Se la corrente fosse troppo forte, il rame non si precipiterebbe aggregato, ma invece in polvere bruna e senza coesione; inoltre per la rapida decomposizione del solfato di rame, la soluzione sarebbe presto carica di acido solforico libero, ed il rame precipitato non tarderebbe ad essere ossidato. Parimente se la corrente fosse troppo debole, il rame si precipiterebbe con soverchia lentezza, ed allora sarebbe friabile, cristallizzato e di un rosso bruno. Se la soluzione non sarà satura, la corrente scomporrà al tempo stesso il sale e l'acqua, ed il gas idrogeno che si svolgerà al polo negativo impedirà l'aggregazione del rame. La pratica soltanto insegna qual sia l'intensità della corrente adattata per ottenere un buon resultato; ma fino dal principio dell'operazione potrà l'operatore giudicare se l'azione è troppo energica o troppo debole dal colore del rame precipitato e dalla rapidità della precipitazione, e quindi togliere o aggiungere qualche coppia alla pila. Onde esser certi che la soluzione di rame resti sempre satura, si fa pescare nel liquido un sacchetto di tela in cui si tengono dei cristalli di solfato di rame. Onde poi la soluzione non divenga acida, l'elettrode positivo dovrà esser formato da una lastra di rame, su cui portandosi l'ossigeno e l'acido, si viene a riprodurre costantemente una quantità di solfato eguale a quella che si decompone. A fine di assicurarsi che l'operazione procede bene, si estrae di tanto in

tanto lo stampo dal liquido, ciò che può farsi senza pericolo di turbare l'operazione, ed allorchè si vede che tutta la superficie ha un colore di rame eguale e lucido si è certi del resultato. Si continua l'esperienza fino che la lamina di rame precipitato non ha acquistato la debita grossezza. Quando si formano pezzi assai estesi è utile disporli orizzontalmente, mentre coi pezzi piccoli la posizione dell'elettrode negativo è indifferente. Finita l'operazione si distacca la lamina di rame precipitato, introducendo delicatamente fra esso e lo stampo la lama di un coltello. Onde formare una medaglia a due faccie, si fanno prima queste separatamente, quindi si riuniscono assieme, saldandone convenientemente gli orli.

Passiamo adesso a descrivere gli apparecchi che debbono usarsi per il passaggio della corrente nella galvanoplastica. Volendo ottenere una piccola medaglia si potrà fare uso di un apparecchio immaginato da Daniell che serve al tempo stesso da pila e da bagno di decomposizione. Consiste in un recipiente *A* di vetro (*Fig.* 66, *Tav.* II) contenente una soluzione satura di solfato di rame, nella quale sta immerso un cilindro di vetro *B* chiuso inferiormente da un tappo di argilla o di membrana, e contenente una lamina di zinco *Z* immersa in una soluzione acida. Dalla lamina di zinco si parte un filo di rame che va ad unirsi al conio della medaglia *R* situato nella soluzione di solfato di rame del primo vaso, al di sotto del turacciolo del cilindro *B*. Se poi si vorranno ottenere più medaglie ad un tempo, ovvero qualche bassorilievo di considerevoli dimensioni, converrà che la pila sia separata dalla vasca di decomposizione in cui situansi gli stampi. Si darà la preferenza alle pile a forza costante, in special modo a quella di Daniell. Pochi elementi di questa pila possono servire anco per dei saggi di grandi dimensioni. Una sola coppia di Bunsen o due servono anche efficacemente all'uopo. La vasca si farà consistere in una cassetta di terra verniciata sulla quale si collocheranno attraverso due verghe di ottone *B* e *D* (*Fig.* 67, *Tav.* II) che si faranno comunicare l'una col polo negativo, l'altra col positivo della pila. Si sospendono alla prima le forme *m* già preparate, ed alla seconda una lastra *C* di rame, la cui superficie sia presso a poco eguale a quella

delle medaglie riunite. Se lo stampo sarà di superficie molto estesa, tornerà utile disporlo orizzontalmente. Allora converrà tenere parallelamente ad esso e alla distanza di 3 a 4 centimetri la lastra di rame che fa da polo positivo della pila; e sarà bene che lo stampo sia al disotto; lo che si ottiene posandolo sopra sostegni di vetro o di porcellana che sono nel fondo della vasca e sui quali si colloca colla sua faccia verniciata.

Per costruire delle statue colla galvanoplastica s'incontrano difficoltà assai maggiori che per i bassi rilievi e per le medaglie. Lo stampo dev'esser formato come se si volesse colarvi dentro il metallo; perciò la difficoltà maggiore proviene dal doversi precipitare il rame nell'interno di una cavità che comunica colla massa liquida per mezzo di uno o due fori assai stretti, per cui la corrente è assai indebolita. Oltre di che è quasi impossibile tenere la massa liquida interna saturа egualmente di solfato di rame in tutti i punti, per cui accade spesso che il rame si precipita assai disegualmente sulla superficie dello stampo e non di rado avviene che si chiudono i fori. Per queste ragioni non si è riusciti fin qui a formare colla galvanoplastica delle statue di grandi dimensioni. Forse si riescirà meglio in questo intento formando le due metà della statua separatamente come per le medaglie, e poscia saldandole insieme.

Incisione galvanica. In questo processo la corrente elettrica compie lo stesso ufficio dell'acqua forte nel metodo ordinario d'incisione. Si prende una lastra di rame sulla quale si stende a caldo uno strato della vernice da incidere formata d'asfalto e di cera o pece nera. Indi sopra questa superficie verniciata ed affumicata s'incide con una punta di acciajo il disegno. La lastra così preparata si fissa non più al polo negativo, ma al polo positivo della pila, nel qual modo l'ossigeno e l'acido che la corrente porta sui punti della lastra di rame lasciati scoperti nel fare il disegno, vi disciolgono il rame e vi formano la incisione. Bastano generalmente dieci minuti per compiere l'operazione. Onde l'incisione riesca perfetta conviene ritirare la lastra di tanto in tanto per ricuoprire con vernice i tratti più fini che formano le mezze tinte.

Si è usato ancora di adoprare la lamina di rame dorata coi processi galvanici che ben tosto descriveremo in vece che verniciata, tracciando il disegno sullo strato d'oro come si fa sulla vernice. In questo modo il disegno e l'incisione possono essere ottenuti di una maggior finezza.

Doratura e argentatura galvaniche. La precipitazione dell'oro, del platino e dell'argento sopra le superfici metalliche che formano il polo negativo della pila, in mezzo alle soluzioni d'oro, di platino e d'argento, è un fatto di elettrochimica identico a quello su cui si fonda l'arte della galvanoplastica. Questo fatto costituisce una delle più belle ed utili applicazioni della elettrochimica, essendosi per esso sostituito un metodo di dorare facile ed egualmente economico ad uno che riusciva nocivo alla salute degli operatori e non suscettibile di tanta varietà ed estensione.

L'arte dell'elettrodoratura fu indubitatamente scoperta dal chimico Brugnatelli di Pavia, il quale nel 1803 scriveva al Van Mons di essere riuscito a dorare in modo perfetto due grandi medaglie di argento, facendole comunicare col polo negativo di una pila immerso nell'ammoniuro d'oro. Questo fatto cadde però in dimenticanza, e non è stato che 36 anni dopo il primo annunzio del Brugnatelli, che il De la Rive di Ginevra lo ha richiamato a vita fondando realmente su di esso l'arte dell'elettro-doratura.

Molti sono stati i metodi proposti per dorare coll'elettricità; ma tutti consistono nel tenere il metallo che si vuol dorare immerso in una soluzione d'oro e congiunto al polo negativo della pila. De la Rive teneva il pezzo che voleva dorare in una soluzione diluita di cloruro d'oro neutro, contenuta in una specie di sacchetto di membrana animale: stava immerso questo sacchetto in un liquido acido in cui era una lamina di zinco congiunta con un filo metallico al pezzo da dorare. In una parola l'apparecchio di De la Rive consisteva in una pila elementare simile a quella di Daniell, nella quale la soluzione d'oro era sostituita a quella del solfato di rame. De la Rive consigliava l'uso di una corrente debole, dello zinco puro e distillato e di una soluzione d'oro neutra e assai diluita. Questo metodo non tardò ad essere perfezionato: ed infatti

non si ottenevano mai per suo mezzo dorature forti e di quel colore che più piace. L'arte vera doveva formarsi, e questa fu principalmente creata da Ruolz e da Elkington che immaginarono di sostituire al cloruro semplice di oro le soluzioni di questo composto combinato al cloruro di potassio o alla potassa, e d' impiegare una pila comune a più elementi per decomporre la soluzione, tenuta in un recipiente distinto da quello della pila. Le migliori soluzioni d'oro, quelle mercè le quali si sono ottenuti i più perfetti resultati sono le seguenti. La Commissione dell'Accademia delle Scienze di Parigi operò con una soluzione formata di un grammo di cianuro d'oro disciolto in 100 grammi d'acqua contenente 10 grammi di cianuro di potassio in soluzione. Si fa bollire il miscuglio per mezz'ora, e lasciato raffreddare si filtra. Breant ha dorato perfettamente con una soluzione ottenuta trattando l'ossido idrato d'oro con una soluzione bollente di cianuro ferroso potassico e di potassa all'alcool. Le proporzioni sono le seguenti: ossido d'oro ottenuto da 8 parti di metallo; ferrocianuro potassico 96, potassa 24, acqua 960. Il Professor Selmi ha pure ottenuto ottimi resultati componendo il liquido con una parte di cloruro di oro a cui si aggiunge prima tanta ammoniaca da rendere alcalina la soluzione, e poscia 2 parti di carbonato di soda, 2 di ferrocianuro di potassio e 100 di acqua. Non è anche ben nota la maniera con cui procede la chimica decomposizione di queste differenti soluzioni d'oro; ma è certo che la presenza dell' alcali nelle medesime, toglie qualunque possibilità d'ossidazione al metallo che comunica col polo negativo della pila; e ciò, tanto prima del passaggio della corrente, quanto durante il medesimo.

Diciamo adesso in che debbono consistere le varie pratiche da usarsi per ottenere una doratura forte, di lunga durata, e di quel grado di colore e di lucentezza che piacciono nel commercio. La più importante delle operazioni che deve subire il pezzo d'argento o di rame che si vuol dorare è quella di renderne perfettamente pulita la superficie metallica, senza di che l'adesione perfetta de'due metalli non può ottenersi. Si suol fare quest'operazione, ora a caldo, immergendo il pezzo per pochi istanti nell'acido nitrico o in solu-

zioni diluite d'acido solforico, ora a freddo passando della polvere di pomice sulla superficie da dorare. Si può a questi metodi supplire usando un bagno di protonitrato di mercurio. Il pezzo che si vuol dorare si tiene immerso in una soluzione assai diluita di questo sale sino a che si faccia bianco per amalgamazione. Si lava allora con molta acqua, e si distende uniformemente il mercurio passandovi sopra con una pelle. Secondo lo stato diverso dell'amalgama superficiale può ottenersi ora la doratura *lucida e brillante*, ora quella *opaca*, che dicesi *mat* di Parigi. È provato ormai che le differenze nella tinta o grado della doratura, non dipendono già, come fu creduto da primo, dalla presenza di una certa quantità di rame misto all'oro, ma da uno stato diverso molecolare dell'oro deposto, e più ancora dallo stato della superficie su cui la doratura si è operata. Un velo d'oro così sottile come quello che forma la doratura lascia alla superficie quelle qualità fisiche che la medesima già possedeva, il che ha fatto giustamente dire a Becquerel che *tale è la doratura, quale si è la superficie dell'oggetto da dorarsi.* Adunque allorquando si vorrà ottenere la doratura opaca detta *mat*, converrà che la superficie dell'oggetto sia alquanto rugosa, e ciò si otterrà immergendo precedentemente il pezzo da dorarsi amalgamato o no, in una soluzione acida più forte e ad una temperatura più elevata di quando la doratura dev'essere lucida e brillante.

Le stesse regole e le stesse disposizioni negli apparecchi che abbiamo descritto per la galvanoplastica, possono ripetersi per la galvanodoratura. È essenziale che il bagno per dorare sia alla temperatura di $+ 20^0$ a $+ 30^0$ C, imperocchè ad una più bassa il pezzo non tarda ad annerire, e la doratura riesce rossa. Una lamina d'oro deve formare quella parte del polo positivo che sta immersa nel bagno, ed è utilissimo che essa abbia presso a poco la stessa estensione del pezzo da dorare. Allorquando il pezzo sembra dorato a sufficienza si toglie e si lava con molt'acqua. Avendo pesato il pezzo prima della operazione e pesandolo dopo si determina la quantità di oro che vi si è depositata.

Oltre l'argento ed il rame si può dorare anche l'ottone, il bronzo ed il ferro. Per dorare quest'ultimo metallo si usa

di ricoprirlo prima di uno strato di rame, tenendolo immerso in una soluzione di solfato rameico.

Quanto all'inargentatura e platinatura per mezzo della corrente, diremo che il liquido o bagno per inargentare si forma sciogliendo un grammo di cianuro d'argento e dieci grammi di cianuro di potassio in cento grammi di acqua, e quello per platinare si fa consistere in un doppio cloruro di platino e di potassio sciolto in una soluzione di potassa caustica.

Infine si usa talvolta nelle arti di ricuoprire il ferro con uno strato di zinco, e si ottiene in questa guisa il così detto *ferro galvanizzato*. Il bagno che a questo fine si adopra ottiensi sciogliendo l'ossido di zinco in una soluzione di potassa. In tutte queste operazioni fu trovato vantaggioso impiegare una pila a varj elementi, piuttosto che una sola coppia.

Elettro-metallurgia. Fino ad oggi non si sono fatti che dei tentativi di elettro-metallurgia. L'arte di estrarre i metalli dai loro minerali per mezzo della corrente non è per anco stabilita. Si debbono a Becquerel i primi saggi relativi a quest'arte, i quali furono da lui rivolti specialmente all'estrazione del rame. Si trasformano primieramente i minerali di rame in solfato mediante gli ordinarj processi chimici, quindi si opera la decomposizione della soluzione del solfato di rame mediante la corrente. Sembra che questo processo di riduzione riesca assai più costoso di quello fin qui adoprato mediante il carbone.

Nelle fonderie di ferro dell'Inghilterra si è tentato di ottenere colla corrente elettrica la purificazione del ferro dal zolfo, fosforo, arsenico ec., i quali anche in piccolissime quantità alterano grandemente le qualità fisiche del ferro, e nocciono al suo impiego nelle arti. Si era pensato che facendo passare una corrente elettrica nella ghisa fusa, questi corpi verrebbero a separarsi al polo positivo; ma sembra che la maggior conducibilità dei carburi di ferro e la piccolissima quantità dei composti suddetti che vogliono decomporsi sieno di grande ostacolo all'effettuazione dell'indicato processo.

Metallo-cromia di Nobili. Nobili diede il nome di metallo-cromia all'arte da lui ritrovata di colorare variamente i metalli per mezzo della corrente elettrica. Ecco come si riesce in questo intento. Nel fondo di una cassula di vetro o di

porcellana si mette una lamina metallica, che può essere di platino, di acciaio, d'argento, d'ottone ec. alla quale è saldato un lungo filo di rame. Si ricopre questa lamina di uno strato alto poche linee di una soluzione di acetato di piombo, e s'immerge nel liquido, fino alla distanza di circa mezza linea dalla lamina, un filo sottile di platino. Se allora si stabilisce la comunicazione della lamina col polo positivo, e del filo di platino col polo negativo di una pila di 12 a 15 elementi alla Wollaston di piccola superficie, si vedranno dopo pochi secondi apparire sulla lamina diverse iridi concentriche di colori vivissimi e brillanti come quelli della coda del pavone. Queste iridi nascono le une dentro le altre quasi incalzandosi a modo delle onde; e i loro colori sono tanto più vivaci quanto più è lucente e levigata la lamina che si è adoperata. Quanti sono i fili negativi adoperati, altrettanti sono i sistemi circolari di iridi che si producono sulla lamina, e tutti hanno per centro costante il punto che corrisponde verticalmente al filo. Se i fili negativi sono prossimi, i circoli non si sormontano, si schiacciano invece nelle parti interne, e sembrano quasi fuggirsi. Quando la lamina comunica col polo negativo ed il filo col polo positivo, mancano i cerchi colorati colla soluzione di acetato di piombo, mentre si ottengono usando una soluzione di acetato di rame, ed in special modo sulle lamine di argento. I cerchi concentrici sono allora così distribuiti: nel mezzo un cerchio nero, poi uno giallo, poi un terzo nero, indi uno di rame puro, e così di seguito. Affine di avere le due apparenze o iridi sopra una stessa lamina si adopera una soluzione composta di acetato di rame e di acetato di piombo, e si colloca la lamina metallica su cui vogliònsi produrre gli anelli colorati nel fondo del recipiente che contiene la suddetta soluzione. Due fili di platino terminati in punta sono immersi nel liquido in modo da essere assai prossimi colla loro punta alla lastra. La disposizione la più comoda per queste esperienze è quella immaginata dal Nobili stesso, consistente in due pinzette d'ottone fissate a due bracci metallici, i quali possono alzarsi ed abbassarsi con apposito meccanismo. I fili di platino sono fissati a queste pinzette, e sono tutti ricoperti di vernice meno che sulla punta

(*Fig.* 68, *Tav.* II). La corrente elettrica che circola nel liquido da una punta all'altra passa in parte anche per la lamina metallica, per lo che si generano due poli secondarj sui punti della lamina più prossimi alle punte di platino. È chiaro che il polo secondario della lastra che è sotto la punta comunicante col polo positivo è negativo, e viceversa per l'altro. Volendo una sola serie di anelli colorati basta di toccare direttamente la lamina con uno dei fili di platino. In ogni caso si usa una corrente assai debole per ottenere dei colori ben distinti. La cagione di siffatti colori è riposta nei sottilissimi veli di ossido o di metallo ripristinato che si depositano sulle lamine metalliche per l'azion chimica della corrente sul liquido. Nobili era giunto a distribuire questi colori in modo così regolare da poterne comporre dei disegni, ma disgraziatamente tali colori sono di una grande instabilità, e non resistono che poco tempo allorchè sono esposti all'atmosfera. Con più punte, variamente distribuite si potranno avere più iridi disposte in quell'ordine che si vorrà. Così, per esempio, volendo un rosone ad occhio di pavone con un bell'anello colorato al centro, basta fare comunicare col polo negativo una serie di punte distribuite sulla periferia di un circolo, come in una ruota dentata (*Fig.* 69, *Tav.* II): con una punta sola si fa poscia l'anello del centro. Becquerel è riuscito recentemente con altri liquidi, modificando il metodo del Nobili, ad avere colori, meno belli forse, ma più durevoli, perchè procedenti da fissazione di ossidi che non si alterano all'aria.

5.° *Effetti fisiologici.* La corrente elettrica esercita il suo potere sulla natura organica e dà luogo agli effetti fisiologici. In quanto alla sua azione sulle piante poco ci è noto. Si era creduto da alcuni fisici che la corrente favorisse la germogliazione dei semi situati al polo negativo della pila; ma questo fenomeno solo indirettamente deriva dall'elettricità, perocchè altro non è se non l'effetto della decomposizione chimica dell'acqua in cui sono tenuti immersi i detti semi. Quest'acqua tiene sempre disciolti dei sali alcalini e terrosi, sicchè la corrente ne trasporta l'acido al polo positivo e gli alcali e le terre al polo negativo. Ora egli è noto che mentre gli acidi nocciono alla germogliazione dei semi, gli alcali e le terre invece la favoriscono.

La corrente agisce sulla *mimosa pudica* e sulla *sensitiva*, alla maniera stessa della elettricità statica e di qualunque altro stimolo. Fatta passare attraverso un fusto di *chara*, si vede infievolire e quindi estinguere il naturale movimento circolatorio dei globetti verdi in esso contenuti, che si compie tra nodo e nodo del fusto medesimo.

Gli effetti della corrente sugli animali sono molto più numerosi e svariati, e ci sono noti assai meglio. Essi, come abbiamo veduto, furono i primi che venissero osservati, poichè diedero luogo alla scoperta dell'elettricità dinamica fatta dal Galvani, e consistono in scosse e contrazioni muscolari assai energiche, quando le pile sono potenti. Se si prendono colle due mani gli elettrodi di una forte pila, la scossa violenta che si risente è paragonabile a quella della bottiglia di Leida, specialmente se le mani sono bagnate di acqua acidula o salata, il che serve ad aumentare la conducibilità. La commozione è tanto più intensa quanto maggiore è il numero delle coppie. Con una pila di Bunsen di 50 a 60 coppie, in cui il cilindro di zinco abbia 22 centimetri d'altezza e 15 di diametro, la scossa è molto forte; con 150 a 200 di queste coppie è insopportabile e pericolosa. Questa scossa si estende nel braccio meno di quella della bottiglia di Leida, e trasmessa in una catena di persone è sentita generalmente soltanto da quelle che sono più vicine ai poli.

La pila eccita violente contrazioni, non solo negli animali vivi ma ben anco nei cadaveri di animali uccisi da breve tempo. Si sottopose all'azione di una forte corrente il cadavere di un giustiziato, e le contrazioni che si eccitarono nei muscoli della sua faccia furono spaventevoli. Anche le membra del tronco erano agitate da convulsioni e da movimenti improvvisi, ed i muscoli del torace contraevansi in modo da imitare i moti respiratorj. Sugli uomini e sugli altri animali caduti da poco tempo in asfissia, la corrente è giunta a ristabilire la respirazione e la circolazione che erano rimaste per qualche tempo sospese. L'animale perito di morte naturale non è capace di contrarsi al passaggio della corrente. Lo stesso deve dirsi dell'animale ucciso dalla scarica elettrica o da certi particolari veleni, come l'acido idrocianico, l'idro-

geno solforato ec. Ma l'azione della corrente elettrica sul sistema nervoso degli animali è stata molto dettagliatamente studiata dai fisici, i quali sono giunti a dei resultamenti di assai importanza, che hanno servito di norma nell'applicazione terapeutica della medesima. Marianini, Nobili, Matteucci sono quelli che più particolarmente si sono occupati di questo soggetto. Esporre minutamente le loro osservazioni sarebbe oltrepassare i limiti di questo libro; perciò basterà che ne indichiamo le principali.

Se ad un animale vivo, per. es. ad un coniglio, legato colle sue quattro gambe su di una tavola, si scopre il nervo sciatico in ambo le cosce, e si isola dalle parti circostanti per mezzo di una striscia di taffettà verniciato, e quindi si applicano sopra uno di questi nervi alla distanza di due a tre centimetri l'uno dall'altro i reofori di una pila, si giunge a far passare la corrente pel nervo stesso. Ora questa corrente può esser mandata nel nervo in due direzioni opposte, vale a dire dal tronco verso i rami o dai rami verso il tronco. Nel primo caso la corrente dicesi *diretta*, nel secondo *inversa*.

Qualunque sia la direzione che si dà alla corrente, si osserva che al primo chiudere del circuito l'animale contrae i muscoli della coscia e dà indizi di sensazione dolorosa gridando, incurvando il dorso, e agitando le orecchie. Dopo un breve intervallo l'animale si ripone in quiete, e pare che non avverta nuova molestia; ma interrompendo il circuito, i medesimi fenomeni si riproducono. Le contrazioni sono ordinariamente maggiori al principio della corrente, diretta piuttosto che della inversa, mentre la sensazione dolorosa è più forte al principio di quest'ultima. Ripetendo molte volte di seguito queste esperienze sullo stesso animale, questo dopo un certo tempo non darà più alcun indizio del passaggio della corrente, e ciò avverrà tanto più presto quanto più intensa sarà la corrente. Ma lasciando l'animale per qualche tempo in riposo, o accrescendo la forza della corrente, i fenomeni si riproducono.

La corrente continua, quantunque non sia avvertita dall'animale, pure dopo un certo tempo toglie alle membra la facoltà di contrarsi; anzi pare che il prolungato passaggio della cor-

rente diretta generi sull'animale vivo paralisi di moto, e quello dell' inversa paralisi di senso.

Ma l'eccitabilità dei nervi resta molto più indebolita pel passaggio prolungato di una corrente interrotta a brevi intervalli di quello che pel prolungato passaggio di una corrente continua. Si può far passare interrottamente una corrente elettrica attraverso il corpo di una rana, distendendo questo animale, nel modo che abbiamo sopra indicato pel coniglio, sopra una tavoletta, per mezzo di piccoli chiodi. Si lega ad uno di questi chiodi uno dei reofori della pila, e si tocca successivamente un altro chiodo coll'altro reoforo. Il circuito viene così interrotto a brevi intervalli, e l'animale distende le sue membra, e sembra preso da convulsioni tetaniche. Se si paragona l'eccitabilità che rimane a due rane, sottoposte ambedue per lo stesso tempo all'azione di una pila di egual forza, ma l'una con una corrente continua e l'altra con una corrente interrotta, si trova sempre che farà d'uopo dipoi di un maggior numero di coppie per fare contrarre la rana che ha subito l'azione della corrente interrotta. Il grande esaurimento della eccitabilità dei nervi per il passaggio della corrente rinnovata a cortissimi intervalli di tempo è più particolarmente dimostrato dalle esperienze di Masson. Questo fisico immaginò un apparecchio, per mezzo del quale potere eccitare in un animale un gran numero di scosse elettriche in un tempo brevissimo. Consiste in una ruota dentata metallica, fissa ad un asse parimente metallico e capace di girare mediante un manubrio. L'asse della ruota è in comunicazione con uno dei poli della pila, e l'altro polo è in contatto con un filo, il quale dopo essersi avvolto a spirale sopra un cilindro di ferro dolce, comunica con una lastra metallica fissa, la quale viene urtata successivamente dai denti della ruota. Quando questa gira, si chiude il circuito a ciascun contatto della lastra metallica con un dente, e s'interrompe nell'intervallo che divide due contatti successivi. Quando si toccano colle mani bagnate due cilindri metallici comunicanti colle due estremità del conduttore poste ai lati del punto in cui si apre e si chiude il circuito, si prova una successione di scosse molto forti; e se la velocità di rotazione è considerevole, queste scosse producono

nelle braccia una contrazione dolorosa e così intensa che i muscoli non possono più obbedire alla volontà, e lo sperimentatore non può lasciare i conduttori che ha nelle mani, ed è anzi costretto a stringerli con più forza. Se poi si dà alla ruota una velocità troppo grande, in modo che le scosse siano di circa 300 a minuto secondo, allora il fenomeno delle contrazioni sparisce, giacchè le interruzioni non sono più distinte, e la corrente assume l'aspetto di corrente continua.

Quando parleremo dell'induzione elettromagnetica descriveremo altri apparecchi destinati allo stesso oggetto di quello del Masson, ed anco più potenti. Con questi si giunge ad uccidere un coniglio o un gatto nello spazio di qualche secondo con una pila di pochi elementi.

Quando si fanno passare le correnti elettriche sugli animali uccisi, mancando in questi i segni del dolore, si hanno le sole contrazioni. Si può operare sopra molti animali, ma bastano le rane preparate al modo di Galvani, vale a dire le sole gambe posteriori private della pelle ed attaccate alla spina dorsale, sui lati della quale si sono diligentemente denudati i nervi lombari che decorrono parallelamente a guisa di due cordoncini bianchi (*Tav.* III, *Fig.* 70). Se la rana così preparata è recente, si scuote tanto colla corrente diretta come colla inversa, tanto all'atto che si chiude quanto a quello che s'interrompe il circuito. A misura, però che l'animale va perdendo della sua vivacità, le contrazioni acquistano dei caratteri particolari, e le differenze dipendono dalla direzione della corrente. Le contrazioni si manifestano forti nel compiere il circuito, e deboli nell'interromperlo quando la corrente è diretta; ed appariscono nell'interrompere e mancano nel chiudere il circuito quando è inversa. Indebolendosi ancor più la vitalità della rana, le contrazioni compariscono soltanto al compiere il circuito colla corrente diretta, e nell'interromperlo quando è inversa. Infine quando ogni vitalità si è spenta, la rana non più si contrae in qualunque modo si operi. Anche negli animali uccisi si osserva che non v'ha contrazione durante tutto il tempo che transita la corrente.

Volta poi aveva osservato che una rana, dopo lasciata per circa mezz'ora nel circuito di una pila, non si scuote più

sotto l'azione della medesima corrente, tanto nel chiudere che nell'interrompere il circuito; mentre rinascono in essa le commozioni dirigendo la corrente in contrario verso. Questo fatto rimarchevole è detto delle *alternative voltiane.*

Usi medici della corrente. Si ammette generalmente dai fisici che in certi casi di *paralisi* i nervi siano alterati in un modo analogo a quello che sarebbe in essi accaduto pel passaggio continuo della corrente elettrica. Abbiamo visto che per restituire ad un nervo l'eccitabilità al passaggio della corrente, dopochè l'ha perduta pel prolungato transito della medesima, bisogna servirsi d'una corrente diretta per verso contrario a quella. Parimente per far cessare la paralisi, si dovrà far passare una corrente in direzione contraria a quella che avrebbe potuto produrla. Laonde per una paralisi di movimento converrà applicare la corrente inversa, mentre per una paralisi di sensibilità si dovrà usare la diretta. Ma se la paralisi è completa, non v'ha più ragione alcuna per servirsi piuttosto dell'una che dell'altra corrente. È stato pure osservato che la corrente interrotta con frequenza, mentre uccide gli animali che vi si assoggettano per lungo tempo, aumenta invece l'eccitabilità nervosa quando l'animale ne subisce solo per breve tempo l'azione; quindi nella cura delle paralisi, alla corrente continua è da preferirsi quella interrotta.

La corrente è stata applicata con vantaggio anche nelle *nevralgie*, servendosi dell'agopuntura per dirigere la corrente secondo le diramazioni dei nervi che sono sede del dolore.

Il Matteucci l'ha proposta anche nella cura del *tetano.* Poichè il passaggio della corrente interrotta nei nervi di un animale induce da prima le contrazioni tetaniche, mentre il passaggio della corrente continua produce bentosto la paralisi, era probabile che l'uso di una corrente continua nel tetano avrebbe distrutto questo stato, inducendo invece la paralisi. Questa applicazione fu difatto tentata nel caso di un tetano traumatico; e quantunque non si riuscisse a produrre la guarigione, pure gli alleviamenti al male, durante il passaggio della corrente, furono tali da far concepire la speranza di migliori resultati nei casi di tetano non traumatico.

Infine si è applicata la corrente, e ordinariamente con ottimo successo, nella cura degli *aneurismi.* In questo caso si

ha per iscopo di produrre la coagulazione dell'albumina del sangue, in modo da formare nel sacco aneurismatico un grosso grumo che faccia le veci della legatura dell'arteria. Per riuscire nell'intento bisogna che il passaggio della corrente sia rinnuovato molte volte di seguito. I reofori della pila debbono terminare in aghi di platino che introduconsi nell'arteria dilatata. In Toscana il professor Burci e l'illustre professor Regnoli sono riusciti felicemente in queste cure. Ogni qualvolta si applichi la corrente alla cura delle malattie rammentate, si avverta di cominciare con correnti molto deboli, perocchè vi sono degli individui che in principio appena tollerano le più piccole scosse. Fa d'uopo inoltre non prolungare di troppo il passaggio della corrente; e quando si faccia uso della corrente interrotta, dopo 20 a 30 scosse si lasci il malato per qualche tempo in riposo.

Quanto agli apparecchi da adoprarsi, la pila a corona di tazze è molto comoda, prestandosi facilmente alla diminuzione o all'aumento della intensità della corrente col togliere o aggiungere qualche coppia. Volendo usare la corrente interrotta si potrà applicare la ruota di Masson, ovvero alcuno degli apparecchi d'induzione che a suo luogo descriveremo. Sembra anzi che in molte circostanze le correnti di questi ultimi apparecchi, a motivo della minore loro azione chimica disorganizzatrice, siano da preferirsi a quelle della pila.

4.° *Azione delle correnti tra loro, ossia fenomeni elettrodinamici delle correnti.*

La scoperta dell'azione scambievole delle correnti devesi al celebre Ampère. Noi indicheremo successivamente le leggi di quest'azione nelle correnti parallele, nelle angolari, e negli altri casi di maggiore importanza.

Leggi delle correnti parallele.

1.° *Due correnti parallele e dirette nello stesso verso si attraggono.*

2.° *Due correnti parallele e dirette per versi contrarj si respingono.*

Per dimostrare queste leggi si fa uso di un apparecchio in cui il circuito è diviso in due parti, l'una fissa e l'altra mo-

bile. La parte fissa si compone di due colonne di ottone collocate verticalmente sopra una piccola tavola di legno. (*Tav.* III, *Fig.* 75). Si fa comunicare l'elettrodo positivo di una pila di quattro o cinque coppie di Bunsen col piede della colonna che è alla sinistra della figura: la corrente ascende in questa colonna, portasi ad un filo *A*, indi ad una vaschetta *B* che contiene del mercurio. Qui incomincia la parte mobile del circuito, che è composta di un filo di rame, una estremità del quale posa per mezzo di un perno sulla vaschetta *B*, e l'altra s'immerge in un'altra vaschetta *C*, dalla quale la corrente ascende nella colonna destra, comunicante alla sua sommità col polo negativo della pila. Dalla disposizione delle frecce si vede che la corrente va in direzione contraria nelle colonne e nel circuito mobile. Si comincia l'esperienza, disponendo prima del passaggio della corrente, il conduttore mobile nel piano degli assi delle colonne. Non appena la corrente comincia a circolare, si vede che il conduttore mobile viene respinto da quello fisso, e se ne allontana ruotando sul suo perno *B*, il che dimostra la seconda legge. Per dimostrare la prima legge si toglie il circuito mobile della figura 75, e gli si sostituisce quello rappresentato nella figura 76. In questo caso si vede parimente dalla direzione delle frecce, che la corrente si dirige nello stesso verso, tanto nella parte fissa che nella mobile dell'apparecchio, e si riconosce che v'è attrazione, perchè il circuito mobile torna sempre nel piano degli assi delle colonne non appena ne sia rimosso.

Leggi delle correnti angolari.

1.° *Due correnti rettilinee, le cui direzioni facciano un angolo tra loro, si attraggono quando si avvicinano ambedue al vertice, o quando ambedue se ne allontanano.* 2.° *Se una delle correnti va verso il vertice dell'angolo e l'altra se ne allontana, si respingono.*

Queste due leggi possono riassumersi in una legge unica, che è la seguente: *Due correnti che si tagliano, che fanno un certo angolo tra loro, tendono sempre a divenire parallele, in modo da ridursi ad essere dirette nello stesso verso.*

Due correnti che s' incrociano, possono trovarsi sullo stesso piano, e quindi incontrarsi colle loro direzioni, o possono

trovarsi in piani diversi in modo da non potersi incontrare: nel primo caso il punto d'incontro *o d'intersezione* è il punto in cui si tagliano; nel secondo convien prendere per questo punto, o vertice dell'angolo, la perpendicolare comune. Lo stesso conduttore mobile della figura 75 può servire a determinare quest'azione: basterà fare agire sopra il suo lato orizzontale inferiore una corrente fissa di una conveniente intensità; e onde renderne l'azione più forte si adopera per conduttore fisso un filo ricoperto di seta e ripiegato più volte sopra sè stesso a rettangolo; il quale apparecchio dicesi perciò moltiplicatore. Si può anche verificare la stessa azione mediante un apposito apparato, rappresentato dalle figure del numero 77 Tav. III. Consiste in un disco di legno, sul quale sono incavati due canaletti semicircolari separati in *a* e *b* da due lamine isolatrici. Nel centro è fissato un pernio *o*, sul quale riposa per mezzo di un cappelletto un ago di rame mobilissimo *c d*, i cui estremi di ferro, incurvati in basso, pescano nel mercurio dei due canali: al di sotto di quest'ago ve ne è un altro *e f*, che si fa muovere colla mano e che pesca esso pure colle sue estremità nei due canali. La corrente che entra in *x*, passa per i due aghi ed esce per l'altra cavità *y*. Mettendo gli aghi nella posizione indicata dalla figura, essi respingonsi, e si ha attrazione ponendoli in modo che l'angolo *c o f* sia minore di un angolo retto.

Può dedursi da questa legge dell'azione delle correnti angolari, che in un conduttore piegato ad angolo (*Tav.* III, *Fig.* 78) le due parti *a b*, *b c*, una delle quali si accosta e l'altra si allontana dall'angolo, si respingono tra di loro, e perciò tende il conduttore a divenire rettilineo. Questo stesso principio condusse Ampère ad ammettere, *che le parti contigue di una stessa corrente rettilinea si respingono;* alla quale conclusione egli giunse mediante la teoria matematica dei fenomeni di cui discorriamo. L'esperienza non ha anche sufficientemente comprovato quest'ultimo principio.

Leggi dell'azione delle correnti finite e indefinite fra loro. Allorquando si hanno delle correnti rettilinee che s'incrociano, si chiamano correnti *finite* quelle che non oltrepassano la intersezione, mentre diconsi *indefinite* quelle che la oltre-

passano. Così le correnti *ab*, e *cd*, *pq*, e *qr*, (*Tav.* III, *Fig.* 79) sono finite, mentre le *ab*, *cd*, sono entrambe indefinite.

L'esperienza dimostra; che *una corrente finita che si accosta ad una corrente indefinita tende a muoversi in direzione contraria di quest'ultima, mentre se la corrente finita si allontana dalla indefinita tende invece a muoversi nello stesso verso della medesima.* Sia *MN* la corrente indefinita fissa (*Tav.* III, *Fig.* 80) ed *OA* la finita mobile intorno al centro *O*, e diretta primieramente dal centro alla circonferenza. Agevole sarà, per ognuno che rammenti le leggi di sopra esposte, intendere come tra questa corrente e l'altra *M N* ci debba essere attrazione, perocchè sono dirette nello stesso verso: la corrente *O A* adunque attratta dalla *M N* prenderà la posizione *O B*; ma allora nell'angolo *O P M* vi sarà attrazione e nell'altro *O P N* repulsione, e però la corrente seguiterà il suo cammino e verrà p. es. in *O C*, in cui verificandosi le medesime condizioni dovrà proseguire innanzi, e così sempre seguitando ad applicare le note leggi, s'intenderà che la corrente terminata dovrà ruotare continuamente intorno al centro *O*. Se poi la corrente finita andasse dalla circonferenza al centro, essa ruoterebbe per verso contrario della precedente; e la rotazione cangerà anche direzione se muterà quella della corrente fissa.

Se la corrente indefinita sarà circolare, e la corrente finita sarà mobile nel centro di essa, s'intenderà pure facilmente cogli stessi principj che la corrente mobile prenderà un continuo movimento di rotazione che sarà diretto sempre pel verso contrario della corrente circolare quando la direzione della prima è dal centro alla circonferenza, e sarà nello stesso verso della corrente circolare quando la corrente mobile va dalla circonferenza al centro.

Onde verificare queste conseguenze delle leggi generali a cui obbediscono le azioni delle correnti elettriche, si adopera un vaso circolare *AC DB* di rame (*Tav.* III, *Fig.* 81), e un conduttore *a b c* mobile, che si sospende entro una piccola capsula *s* piena di mercurio e posta nel centro del vaso. Questa capsula è sostenuta da un conduttore *y x* che traversa il vaso, essendone separato da un corpo isolante. Si versa nel vaso circolare tanta acqua acidula che vi possa pescare il

leggiero anello metallico *a b c*, che fa parte del conduttore mobile. Infine si circonda il vaso di una spirale fatta con una lamina di rame coperta di seta, più volte girata sopra sè stessa, come è indicato dalla figura 82. Si fa entrare la corrente per un capo di questa spirale, ed il suo effetto è moltiplicato dal numero grande dei giri della lamina. Dopo essersi più volte aggirata intorno al vaso, passa al di sotto di questo nel piede della colonna conduttrice *y x*, e salendo per essa fino al conduttore mobile giunge all'anello *a b c*, e da questo all'acqua acidulata ed alle pareti del vaso colle quali comunica il polo negativo della pila. L'azione si stabilisce fra la corrente circolare e le porzioni orizzontali e verticali del conduttore mobile, e la rotazione di questo si effettua nella direzione voluta dai principj sopra esposti. Invertendo la direzione della corrente, s'inverte anche il movimento di rotazione del conduttore mobile.

Per verificare la rotazione delle correnti circolari prodotta dalle correnti rettilinee, nella vaschetta dell'apparecchio ora descritto, si sospende il conduttore rappresentato dalla figura 83, fatto di un filo di rame piegato a spirale piana, e di cui le spire sono mantenute in uno stesso piano da tre piccole stecche di balena. La estremità interna dell'ultima spira si ripiega verticalmente e serve a sospendere la spirale che si fa tuffare nell'acqua acidulata. La corrente segue i contorni o giri della spirale, ne esce da tutti i punti, e a guisa di raggi traversa l'acqua acidula onde giungere sulle pareti del vaso. Cotali correnti irraggianti sono quelle che agiscono sulla corrente che percorre la spirale, e perciò questa si muove nel verso della propria corrente. Lo stesso accade se si fa andare la corrente in una direzione opposta, vale a dire che dalle pareti del vaso traversi l'acido ed entri nella spirale. La corrente ha in questo caso cambiato tanto nel liquido che nella spirale, e il suo movimento è come per l'avanti. Onde questo movimento s'inverta convien prendere una spirale ripiegata nel verso contrario della prima, come quella che è rappresentata dalla figura 84.

Leggi dei sistemi di correnti circolari. Ampère ha chiamato *selenoide* un sistema di correnti circolari eguali e parallele e

i di cui centri si trovano sopra una linea qualunque. Per realizzare l' idea del selenoide e per determinarne l'azione si costruiscono dei piccoli apparecchi chiamati *cilindrici elettrodinamici*, i quali consistono in *eliche* formate sopra un cilindro qualunque con un filo di rame coperto di seta. Dopo aver fatto fare a questo filo un certo numero di giri, si fa ritornare il filo addietro per l'asse stesso dell'elica (*Tav.* III, *Fig.* 85) In questo apparecchio, quando il circuito è percorso da una corrente, le correnti parziali di ogni spira possono considerarsi come le resultanti di una corrente circolare normale all'asse e di una piccola corrente rettilinea di cui la lunghezza è eguale al passo dell'elica. Facendo retrocedere il filo nell'asse dell'elica, onde la corrente vi cammini in una direzione contraria di quella che hanno le piccole correnti rettilinee supposte, se ne distrugge l'effetto, e l'azione di un conduttore così preparato si riduce a quella di tante correnti circolari, che sono le projezioni di ogni spira sul piano perpendicolare all'asse dell'elica.

Per determinare coll'esperienza l'azione di questi cilindri elettrodinamici allorchè sono percorsi dalla corrente, si costruiscono in modo da poterli sospendere e render mobili (*Tav.* III, *Fig.* 86) attorno ad un piano verticale. Allora verificansi le seguenti leggi.

I selenoidi tendono sempre a disporsi coll'asse perpendicolarmente alle correnti indefinite che vi si avvicinano in una posizione qualunque, in guisa che la direzione delle correnti sia la stessa nelle parti più prossime del selenoide e della corrente indefinita. Anche questo effetto è una conseguenza delle leggi generali sopra esposte.

Due selenoidi si attraggono colle loro estremità per un verso, mentre respingonsi pel verso opposto: v' ha attrazione nelle parti in cui le correnti sono dirette egualmente, e repulsione in quelle in cui hanno una differente direzione. Questo fatto verificasi facilmente, tenendo in mano uno dei cilindri elettrodinamici e sospendendo l'altro in guisa che possa liberamente ruotare intorno ai punti di sospensione. Accostando le due estremità del primo cilindro ad una dell'altro si ha attrazione con una, repulsione coll'altra: avvicinandole all'altra estremità, quella

che prima attraeva ora respinge e viceversa. Vedremo tra poco, che vi sono dei corpi in natura, le calamite, che agiscono tra loro esattamente come i selenoidi.

5.° *Fenomeni d'induzione elettrodinamica.*

Le correnti elettriche non solo operano a distanza sopra altre correnti, ossia sui conduttori per cui queste scorrono, ma operano anche sopra i conduttori allo stato naturale inducendo nei medesimi nuove correnti. Il fatto fondamentale di questa induzione fu scoperto da Faraday, ed è il seguente. Si abbiano due spirali piane eguali (*Tav.* III, *Fig.* 87), fatte piegando a spirale sopra una superficie piana un filo di rame coperto di seta, e fissatovi in un modo qualunque, ovvero avvolgendo nella stessa guisa una lamina metallica coperta di seta, e larga quanto un nastro ordinario. Si unisca una di queste spirali coi suoi capi ai fili di un galvanometro, e i capi dell'altra si congiungano ai poli di una pila di un certo numero di elementi a superficie piuttosto estesa. Si tengano prossime le due spirali, e separate soltanto da un foglio di carta o da una lastra di vetro affinchè non nasca dubbio che la corrente della pila fatta passare in una delle spirali passi nell'altra. Così disposte le cose, si chiuda il circuito nella spirale che comunica colla pila: tosto si vedrà l'ago del galvanometro unito all'altra spirale deviare di un certo numero di gradi. Sarà facile riconoscere che questa corrente è diretta nel verso contrario di quella della pila; ond'è evidente che non fa parte di questa; ma è stata soltanto prodotta per induzione. La deviazione non dura che un istante, dopo di che l'ago torna indietro, e dopo alcune oscillazioni si ferma a zero; quindi anche la corrente che la produce è istantanea. Se dopo che l'ago è tornato in riposo, s'interrompe il circuito della pila, il galvanometro dà indizio di una nuova corrente d'induzione della stessa intensità della prima, ma di cui il verso è opposto al primo, e per conseguenza lo stesso di quello della corrente della pila. La prima corrente indotta dicesi *inversa* e la seconda *diretta*. Gl'indicati fenomeni d'induzione si verificano ancora mediante un rocchetto

a due fili, consistente in un cilindro di legno sul quale si avvolgono ad elica, da prima un filo di rame grosso, poi uno più sottile, coperti ambedue di seta (*Tav.* II, *Fig.* 88) Posti i due capi *a* e *b* del filo sottile in comunicazione colle estremità del filo di un galvanometro si fa passare la corrente voltaica nel filo grosso *c d* che chiamasi il filo *induttore*.

I fenomeni d' induzione elettrodinamica avvengono sempre nel modo che abbiamo indicato qualunque sia la forma dei conduttori che si avvicinano: la disposizione a spirale rende queste azioni maggiori per la maggior lunghezza che può darsi ai due conduttori fra cui accade l'azione. Adunque i fenomeni di cui si tratta possono comprendersi nel seguente principio. *Quando una corrente comincia ad operare sopra un circuito chiuso vi desta una corrente momentanea in direzione opposta alla sua, e quando finisce ve ne eccita un'altra che ha la medesima sua direzione.* Qualunque sia il corpo coibente che s' interpone fra i due conduttori o le due spirali, non si trova differenza nell'azione induttiva; ma se invece il corpo interposto è un buon conduttore della corrente, come sarebbe una lamina metallica, allora gli effetti s' indeboliscono.

Variando la lunghezza e la grossezza del filo nelle eliche in cui si producono le correnti d' induzione, si trova che in un filo molto lungo le correnti indotte crescono d' intensità al crescere del numero delle spirali, mentre in un filo grosso e corto l' intensità aumenta accrescendo la grossezza del filo, e non già aumentandone la lunghezza. L' intensità delle correnti indotte, resulta, dalle esperienze del signor Abria, proporzionale a quella delle correnti inducenti.

Correnti indotte di diversi ordini. Quantunque la durata delle correnti indotte sia istantanea, possono tali correnti dare origine esse pure a nuove correnti indotte, e queste ad altre, e così di seguito. Per dimostrare questo fatto si prende una spirale piana, in presenza della quale se ne mette una seconda, i cui capi si fanno comunicare con una terza, ed in presenza di questa se ne pone una quarta. Facendo passare la corrente nella prima elica, si produrrà nella seconda la corrente indotta, e questa circolando nella terza genererà nella quarta una corrente di seconda induzione. Se in egual

modo si farà comunicare la quarta elica con una quinta, trasmetterà a questa la corrente di seconda induzione, la quale sarà capace di produrre la corrente di terza induzione nella spirale collocata in faccia di essa. Progredendo in tal guisa con altre eliche si potranno avere anche ulteriori induzioni. Si chiama *corrente di prim' ordine* o *primaria* la corrente stessa della pila, e si dicono di *secondo*, *terzo*, *quarto* ec. *ordine* le successive correnti indotte. Queste correnti sono alternativamente in versi contrarj, e la loro intensità decresce a misura che sono di un ordine più elevato.

Induzione di una corrente sopra sè stessa. Quando il filo nel quale passa una corrente voltaica è ravvolto sopra sè stesso ad elica, si osserva che le spire dell'elica reagiscono le une sulle altre per dare alla corrente maggiore intensità. Infatti con una pila di Bunsen di poche coppie si ottengono scintille appena sensibili, sia chiudendo, sia aprendo il circuito, quando il filo che riunisce i poli è corto e non avvolto ad elica: inoltre una persona che faccia parte del circuito, tenendo in ciascuna mano un elettrodo non sente veruna scossa. Al contrario se il filo è lungo e ravvolto replicatamente sopra sè stesso in modo da formare un rocchetto a spire contigue, la scintilla diventa nulla quando si chiude il circuito, ma acquista una considerevole intensità quando si apre; ed una persona collocata nel circuito sente in quest'ultimo caso una scossa, la quale è tanto più forte quanto meglio è stabilito il contatto colle mani, mentre al chiudere del circuito non provava alcuna commozione. Faraday dà ragione di questi fatti singolari supponendo che la corrente che comincia o finisce di passare per ciascun giro dell'elica induca correnti nei giri contigui, per cui quando si chiude il circuito la corrente inducente genera, passando per l'elica, correnti istantanee che vanno per verso contrario, e però all'attacco la scintilla sparirà o sarà piccola; ma venendo al distacco, la corrente inducente generando per induzione altre correnti istantanee nei giri dell'elica, le quali vanno per lo stesso verso, ne avviene un aumento di luce nella interruzione. Per la stessa cagione la scossa è infievolita o annullata al principio del passaggio della corrente, e rinvigorita alla fine. Queste correnti indotte

nei giri dell'elica dalla corrente primaria o inducente furono dette *estracorrenti*.

Gli effetti sopra descritti acquistano intensità anche maggiore se s' introduce nel rocchetto un pezzo di ferro dolce. Anche questo è un fenomeno d'induzione dovuto alla reazione del ferro dolce quando cessa la sua polarità magnetica; ma su ciò torneremo trattando dell' elettromagnetismo.

Effetti di tensione dovuti alle correnti d' induzione. Ruhmkorff ha costruito recentemente dei rocchetti assai potenti, per mezzo dei quali si possono avere dalle correnti d' induzione non solo delle violenti scosse, ma anche degli effetti luminosi che hanno grandissima analogia con quelli delle macchine elettriche a forte tensione.

L'apparato di Ruhmkorff è composto di un grande rocchetto *B* (*Tav.* IV, *Fig.* 103) collocato verticalmente sopra una grossa lastra di vetro che lo isola. Questo rocchetto dell'altezza di circa 15 centimetri, è formato di due fili: uno grosso, del diametro di due millimetri, che fa trecento giri, ed uno sottile, del diametro di $\frac{1}{4}$ di millimetro, avvolto sul primo, che fa diecimila giri. Questi fili sono coperti di seta, ed inoltre ogni spira è isolata dalla seguente per mezzo di una vernice di gomma lacca. La corrente di una coppia di Bunsen attraversa il filo grosso che è l' induttore. Posto il polo positivo in comunicazione col filo *PH*, la corrente passa pel conduttore *C* in un commutatore *G* (1), indi scende per un pezzo metallico, e giunge ad una lastra di ottone *F* che la conduce ad una delle estremità *v* del filo grosso del rocchetto. Siccome l'altro capo di questo filo va a terminare in *i* ad uno dei piedi di ottone che sostengono la lastra di vetro, la corrente, uscendo dal rocchetto, si reca ad una seconda lastra *c* da cui ascende in una colonna di ferro *u A*. Ivi essa giunge ad un martello oscillante *a* (*Tav.* IV, *Fig.* 104), il quale ora è in contatto con un conduttore *n*, ora ne è distaccato.

(1) Questo commutatore è un cilindro, la cui superficie è in parte metallica ed in parte di legno, e che è capace di ruotare intorno al proprio asse. Il suo ufficio è quello d'interrompere e di ristabilire a volontà la corrente.

Quando avviene il contatto, la corrente segue i conduttori *n* ed *E*, come indicano le frecce nella *Fig.* 103; sale nel commutatore *G* d'onde ritorna alla pila per mezzo del conduttore *d e* del filo *Q*. Il movimento alternativo del martello *a* è prodotto da un cilindro di ferro dolce *o* collocato nell' asse del rocchetto. Quando la corrente della pila passa nel filo grosso del rocchetto, il cilindro di ferro si calamita ed attrae dal basso all'alto il martello *a* che è pur esso di ferro. Allora la corrente è interrotta perchè non può passare nel pezzo *n*, il cilindro *o* perde la sua polarità magnetica, ed il martello *a* ricade. In questo momento la corrente ricomincia, il pezzo *a* si solleva di nuovo, e così di seguito (1).

Ciò posto, a misura che la corrente della pila passa così ad intermittenza nel filo grosso del rocchetto, ad ogni interruzione si produce nel filo sottile una corrente d'induzione successivamente diretta e inversa. Ora essendo quest' ultimo perfettamente isolato, la corrente indotta acquista una tensione tanto considerevole da produrre effetti luminosi assai intensi. A quest'effetto si fanno comunicare i due capi del filo sottile *qy* e *px*, che escono al disotto della lastra di vetro, colle due aste di un globo *M*, simile a quello già descritto per le esperienze degli effetti luminosi prodotti nel vuoto dal passaggio della corrente tra due punte di carbone. Rarefatta in questo globo l'aria fino alla pressione di due o tre millimetri, si vede stendersi da una palla all'altra delle due aste una bella striscia luminosa, sensibilmente continua e con intensità eguale a quella che si ottiene con una potente macchina elettrica, il cui disco giri rapidamente. Il polo positivo della corrente indotta è quello che presenta maggiore vivacità; la sua luce è di un rosso infuocato, mentre quella del polo negativo è debole e violacea; inoltre essa si estende lungo tutta l'asta negativa, il qual fenomeno non si produce al polo positivo.

Studiando la luce elettrica fornita dal rocchetto d' induzione di Ruhmkorff, Quet ha recentemente osservato che se prima di fare il vuoto nel globo *M* dell'esperimento prece-

(1) Il modo di agire di questo interruttore della macchina del Ruhmkorff, sarà meglio inteso, dopo lo studio dell'elettromagnetismo.

dente, si introduce in esso del vapore di olio essenziale di trementina, o di alcool, o di solfuro di carbonio ec., l'aspetto della luce è completamente modificato; essa apparisce allora sotto la forma di una serie di zone, alternativamente brillanti ed oscure, che formano quasi una pila di luce elettrica tra i due poli (*Tav.* IV, *Fig.* 105). Dalla discontinuità della corrente d'induzione resulta che in questa esperienza la luce non è continua, ma consiste in una serie di scariche, tanto più prossime quanto più rapidamente oscilla il martello *a* dell'apparato.

Despretz osservò che i fenomeni luminosi costatati da Ruhmkorff e Quet, con una corrente discontinua, si riproducono anche per mezzo di una corrente ordinaria, ma con questa notabile differenza che la corrente continua richiede un numero ben considerevole di coppie di Bunsen, mentre la corrente discontinua del rocchetto di Ruhmkorff non ne richiede che una sola. È pure rimarchevole il fatto constatato dalla esperienza che la intensità degli effetti di questo rocchetto aumenta pochissimo col moltiplicare le pile di Bunsen. Non si conosce ancora la causa della descritta distribuzione della luce elettrica a zone e della colorazione dei poli.

Correnti d'induzione prodotte dalla scarica della bottiglia di Leida. Il migliore apparato per dimostrare queste correnti d'induzione si è quello del Matteucci. Esso è composto di due dischi di vetro del diametro di circa 33 centimetri, fissati verticalmente in due cornici di ottone *A* e *B*, sostenute da piedi mobili e che possono avvicinarsi l'una all'altra ad arbitrio. Sulla faccia anteriore del disco *A* è avvolto a spira un filo di rame *C* (*Tav.* III, *Fig.* 89) del diametro di circa due millimetri. I due capi di questo filo attraversano il disco, l'uno al centro, l'altro alla parte superiore, e terminano a due piccoli morsetti simili a quelli rappresentati in *m n* sul disco *B*. In questi morsetti s'introducono due fili di rame coperti di seta *c* e *d*, che sono destinati a ricevere la scarica induttrice. Su quella faccia dell'altro piatto che trovasi dirimpetto al disco *A* è pure avvolto a spira un filo di rame più sottile del filo *C*, e terminato a due pinzette *m* ed *n* che ricevono due fili *h* ed *i* destinati a trasmettere la corrente indotta. Non so-

lamente i due fili avvolti sui dischi *A* e *B* sono coperti di seta, ma inoltre ciascun circuito è separato dal vicino per mezzo di un grosso strato di gomma lacca, condizione indispensabile per isolare completamente l'elettricità della bottiglia. Per ottenere con questo apparecchio le correnti indotte di cui si tratta, si fa comunicare, come mostra la figura, uno dei capi del filo *C* coll'armatura esterna della bottiglia, e l'altro coll'uncino: all' istante in cui scocca la scintilla l'elettricità circolante nel filo *C*, agendo per influenza sul disco *B*, produce in questo filo una corrente istantanea. Infatti se una persona tiene nelle mani due cilindri di ottone comunicanti coi fili *i* ed *h* riceve una scossa, la cui intensità è tanto maggiore quanto più sono avvicinati l'uno all'altro i dischi *A* e *B*. Questa esperienza dimostra che l'elettricità delle macchine elettriche può in certe circostanze assumere i caratteri della corrente elettrica e produrre al pari di essa delle correnti di induzione.

Induzione statica prodotta dalla corrente elettrica. Mentre l'elettricità statica può talora assumere i caratteri della dinamica, così questa in qualche circostanza può dar luogo a dei fenomeni d'induzione statica. Ciò è stato recentemente scoperto da Faraday, nel porre in pratica un metodo ingegnoso, destinato a riconoscere la perfetta continuità dell'invoglio di gutta-perca che isola i fili di rame delle linee telegrafiche sotterranee o sottomarine. Ecco in che consiste tal metodo. Si prendono molti rocchetti del filo telegrafico, ognuno dei quali porta avvolto un filo della lunghezza di 800 metri, e si sospendono ad un seguito di barche disposte l'una presso l'altra in un canale, in modo che ogni rocchetto sia totalmente immerso nell'acqua, eccetto in un piccol tratto del filo alle due estremità. Si riuniscono insieme le estremità dei rocchetti, spogliate dell'invoglio isolante, in modo da costituire un filo unico di molte migliaja di metri di lunghezza, e si fa comunicare una delle estremità del filo con uno dei poli di una pila, interponendovi un sensibilissimo galvanometro. Questa pila dev'essere assai energica, perfettamente isolata, e deve comunicare col suolo coll'altro suo polo. Ora è chiaro, che se l'isolamento dovuto all'invoglio di gutta-perca non sarà perfetto, si dovrà

stabilire una corrente, la quale verrà manifestata dal galvanometro. Le cose essendo disposte nel modo indicato, se si sopprime la comunicazione della pila col lungo filo, si osservano i seguenti fenomeni: toccando col dito l'una o l'altra delle estremità del lungo filo si prova una forte commozione, la quale è di una certa durata; e non lasciando durare che un istante il contatto del dito col filo, si può decomporre la commozione totale in una quantità di scosse successive. Questo fenomeno indica evidentemente che il filo dopo aver comunicato con uno dei poli della pila, rimane carico di una certa quantità di elettricità che mette un certo tempo a scaricarsi. La cagione di ciò è facile a concepirsi: il filo di rame, l'invoglio isolante ed il liquido conduttore che lo circonda formano evidentemente una bottiglia di Leida d'immensa superficie, la quale quantunque comunicante con una sorgente di elettricità di debole tensione, deve non di meno caricarsi di considerevole quantità di elettrico. Infatti quando si sospende il filo nell'aria invece d' immergerlo nell'acqua, tutti i fenomeni spariscono. Queste esperienze, che servono mirabilmente a mostrare il legame esistente tra i fenomeni di elettrostatica e quelli di elettrodinamica, sono state ripetute da Faraday mediante 2400 chilometri di filo sepolto nel terreno, che costituiscono la linea telegrafica tra Londra e Manchester.

2.° Del Magnetismo.

Esiste in natura un minerale chiamato *calamita* che possiede la proprietà di attirare il ferro. Questo minerale è un ossido particolare di ferro, e la sua mirabile facoltà era conosciuta anche dagli antichi, i quali gli aveano dato il nome di *magnete*, dalla città di Magnesia nella Lidia, in vicinanza della quale incontravasi abbondantemente. Da ciò nacque il nome di *Magnetismo*, che si attribuisce a quella parte della fisica che tratta dei fenomeni a cui dà origine, i quali vennero perciò detti *Magnetici*.

Le più celebri miniere di calamita sono in Siberia, in Svezia e nell'isola d'Elba. Allorquando ad un pezzo di calamita si accostano dei pezzetti di ferro, si veggono ad un tratto

lanciarsi contro di essa e rimanervi aderenti, talchè è necessa rio uno sforzo più o meno grande per distaccarneli. Se avvol gesi un pezzo di calamita entro la limatura di ferro, quand se ne estrae rimane coperto di lunghi filamenti costituiti dall riunione di tante particelle di detta limatura. Ma questi fe nomeni di attrazione si osservano meglio adoperando un sottil ago di ferro sospeso ad un pernio e mobilissimo intorno a medesimo. Allora vedesi che essi manifestansi anche attravers a qualunque corpo; che facendo variare la distanza fra l'ag e la calamita varia anche l'azione tra i medesimi. Coulomb applicando la sua bilancia di torsione alla misura della forz magnetica, ha stabilito che la medesima *cangia in ragion inversa dei quadrati delle distanze.*

L'azione attrattiva della calamita esercitasi non solo su ferro, ma anche sopra due altri metalli, vale a dire il nichelio ed il cobalto, sebbene in minor grado.

In ogni calamita vi sono sempre dei punti di maggior attrazione, dove la limatura si attacca in più copia e dov l'ago è attratto con più forza. Perciò se si copre una calamit con una carta, e sopra questa si sparge uniformemente dell limatura di ferro, si vede questa disporsi nel modo rappresen tato dalla *Figura* 90 *Tav.* III; si vede cioè accumularsi i copia attorno ai due punti *e* ed *e'*, e andare diminuendo verso la linea *m m'* situata nel mezzo di quelli. Gl'indicati centri di attrazione diconsi *poli* della calamita, e la linea *m m'* ove l'attrazione è nulla dicesi *linea neutra.* Talvolta nei grossi pezzi di calamita trovansi più di due poli, i quali facilmente riconosconsi alla disposizione della limatura di ferro attorno ad essi.

Se si rompe una calamita, ogni frammento, per quanto piccolo sia, seguita ad avere una linea neutra e due poli almeno.

Allorquando un pezzo di ferro è posto a contatto di una calamita, esso acquista tutte le proprietà della medesima; diviene cioè esso pure una vera calamita, capace di attirare i piccoli pezzi di ferro e la limatura di questo metallo, e dotata de' due poli e della linea neutra. I nuovi pezzi di ferro attratti acquistano le stesse proprietà, ma sempre in minor grado. Se però si distaccano questi varj pezzi di ferro dalla

calamita principale, perdono totalmente le loro proprietà magnetiche, e tornano inerti come prima. Se però si sottopone il ferro, mentre è a contatto di una calamita, a qualche azione meccanica, come la percussione, la torsione ec., esso conserva le proprietà magnetiche acquistate.

L'acciajo temperato, non così prontamente come il ferro acquista le proprietà magnetiche in contatto della calamita, ma tosto che le ha acquistate le conserva permanentemente. Ciò ha fatto dire ai fisici che l'acciajo temperato è dotato di *forza coercitiva*, ed il ferro dolce ne è privo; denotando con questo nome una forza che si oppone al pronto sviluppo della polarità magnetica, ma prodotta che sia, impedisce che prontamente si neutralizzi. Difficile è trovare il ferro tanto dolce che sia affatto privo di forza coercitiva, come è forse impossibile trovare una forza coercitiva assoluta nell'acciajo temperato, per cui si ha un minimo di cotesta forza nel ferro il più dolce ed un massimo nell'acciajo meglio temperato. S'incontra cioè una serie di gradazioni nelle diverse qualità di ferro non che ne' diversi gradi di tempera dell'acciajo. Allorquando la calamita eccita nel ferro o nell'acciajo il magnetismo polare, essa non comunica loro una porzione della propria forza, perocchè nulla perde della sua energia; e perciò dicesi da alcuni fisici che nel ferro e nell'acciajo esiste il fluido neutro, il quale fino a che non si scompone non si manifesta con l'aspetto della polarità; ma la calamita inducendo colla sua presenza nel ferro e nell'acciajo la separazione de'due fluidi antagonisti costituenti il fluido neutro fa che questi corpi divengano essi pure delle vere calamite.

Si profitta della facoltà dell'acciajo di conservare il magnetismo per costruire delle *calamite artificiali*, le quali altro non sono che barre e cilindri di acciajo calamitati. Un *ago calamitato* consiste in un piccolo rettangolo o losanga di acciajo calamitato (*Tav.* III, *Fig.* 91) che ha i due poli situati alle estremità, ed è mobile su di un pernio. Si fanno anche dei fasci di verghe o sbarre calamitate (*Tav.* III, *Fig.* 92), aventi tutte gli stessi poli nelle medesime estremità. Talvolta si dà alle barre calamitate la forma di un ferro di cavallo (*Tav.* III, *Fig.* 93), nel qual caso i due poli sono molto vicini tra loro.

Alle calamite naturali si sogliono aggiungere due lamine ferro dolce che si dispongono sulle faccie corrispondenti poli, e si fanno terminare ciascuna con un piede massicc di ferro (*Tav.* III, *Fig.* 94). Sotto l'influenza della calamita natu rale queste lamine si calamitano, ed è facile vedere che ra presentando con *A* e *B* i poli della calamita naturale, quel delle armature si troveranno respettivamente in *a* e *b*. Or queste armature, divenendo calamitate, reagiscono a lor vol sul fluido neutro della calamita naturale, lo decompongono ed aumentano per tal modo la potenza magnetica. Alle cala mite armate, ed alle calamite a ferro di cavallo si suol tener unito un pezzo *a' b'* di ferro dolce (*Tav.* III, *Fig.* 93 e 94), che la sciasi attaccato ai loro poli. Questo pezzo chiamasi l'*ancora* dell calamita, e compie l'ufficio di un'altra armatura, perocch calamitandosi esso pure i suoi poli reagiscono su quelli dell calamita. All'ancora delle calamite si sospende un bacino d bilancia che si può caricare di pesi per avere la misura dell forza della calamita; ed è singolare il fatto osservato che la sciando carico il bacino sospeso ad una calamita del maggio peso che può sopportare, dopo un certo tempo la forza dell calamita ha aumentato, poichè può sostenere un peso mag giore. In questa guisa si può accrescere successivamente l forza di una calamita, fino a un certo limite, che non è dat oltrepassare.

Il riscaldamento diminuisce il potere magnetico delle cala mite, al punto che al di sopra di 300° esse perdono la loro polarità, e non resta loro se non che la proprietà di esser attratte da un'altra calamita, a guisa del ferro dolce. Al con trario il raffreddamento accresce la forza magnetica.

Azione reciproca delle calamite. Mentre tra il ferro e la ca lamita si osserva soltanto attrazione, tra le calamite ha luogo attrazione e repulsione. Si abbia una barra calamitata imper niata su di un sostegno e mobilissima attorno al medesimo. Sarà facile costatare che uno dei suoi poli è attratto da un polo di un'altra calamita, mentre l'altro suo polo è respinto da questo. Se si hanno più calamite, e si fanno agire sull'ago mobile, si vedrà che tutte con uno dei loro poli respingono un' estremità dell' ago e coll'altro l' attraggono. Perciò diconsi

poli dello stesso nome quelli che si comportano nello stesso modo sopra lo stesso polo della calamita mobile, e *poli di nome contrario* di due calamite quelli dei quali uno attira e l'altro respinge un medesimo polo della calamita mobile.

Se si fanno agire tra loro le estremità di diverse calamite mobili, sarà facile costatare la legge: *che i poli dello stesso nome si respingono, ed i poli di nome contrario si attraggono.*

Azione della terra sulle calamite. Un'altra importante proprietà delle calamite consiste nell'influenza che il globo terrestre esercita su di esse allorquando possono moversi liberamente. Infatti, se dopo aver calamitato un ago di acciajo si sospende pel suo centro di gravità ad un filo, ovvero si pone in *bilico* su di una punta di acciajo, si vede che esso prende una direzione determinata verso un punto dell'orizzonte che è presso a poco quella da mezzogiorno a settentrione. Questa direzione è così costante, che quand'anche si sposta l'ago, esso vi ritorna sempre dopo un numero più o meno grande di oscillazioni, e con perfetta precisione. Inoltre si osserva che è sempre la stessa estremità dell'ago quella che è rivolta verso il nord e sempre la stessa quella che guarda il sud; di modo che se si gira l'ago di 180°, esso non rimane in equilibrio, ma lasciato a sè stesso descrive una semicirconferenza e ritorna alla primitiva sua posizione. La punta dell'ago che si dirige verso il nord è stata chiamata *polo nord* dell'ago e l'altra *polo sud.* Onde riconoscere immediatamente questi poli, e quindi dedurre la posizione del nord, gli artefici hanno cura ordinariamente di rendere azzurra col riscaldamento, la metà dell'ago che si dirige verso il nord, e di lasciare col suo colore naturale quella che guarda il sud. La direzione dell'ago magnetico è costante in un medesimo luogo, a una data epoca, ma cambia cogli anni, e non è la stessa nei differenti luoghi. Anche nel corso del giorno in un dato punto del globo va soggetta a delle piccole variazioni periodiche, che per tal motivo sono state chiamate *variazioni diurne.*

Declinazione dell'ago magnetico. Abbiamo detto che la direzione dell'ago magnetico non è esattamente quella di sud a nord; perciò si è dato il nome di *meridiano magnetico* al piano che passa pel centro della terra e per la direzione dell'ago

calamitato nel luogo che si considera, per distinguerlo dal *meridiano* terrestre che è il piano che passa dal medesimo luogo e per l'asse della terra. L'angolo che fanno questi due piani, o, ciò che è lo stesso, le due *tracce* che lasciano sulla superficie della terra, chiamasi *declinazione* dell'ago magnetico. Si determina misurando l'angolo che la direzione dell'ago calamitato orizzontale fa colla linea meridiana. La declinazione è *orientale* o *occidentale*, secondo che il polo nord dell'ago è all'est o all'ovest della linea meridiana. Attualmente per l'Europa la declinazione dell'ago magnetico è occidentale, ed è a Firenze di 14°, 3', mentre a Parigi è di 20°.

Fu da prima creduto che l'ago magnetico si dirigesse perfettamente da sud a nord, secondo la direzione cioè del meridiano terrestre, ma Cristoforo Colombo nel 1492, attraversando l'Oceano per andare alla scoperta del nuovo mondo, si avvide dell'errore in cui si era, e perciò si è dopo riconosciuto esser ciò vero soltanto per alcuni luoghi e non sempre; ma in generale la direzione dell'ago essere in una linea più o meno prossima al meridiano terrestre.

La terra adunque spiega un'azione *direttrice* sopra le calamite e gli aghi magnetici, come se essa stessa fosse una calamita, ed avesse dei centri di azione magnetica collocati in vicinanza dei suoi poli. Perciò si ammette che l'estremità di un ago che guarda al sud della terra possegga le proprietà magnetiche dell'emisfero boreale, e quella estremità che è rivolta al nord possegga quelle dell'emisfero australe. Quindi per obbedire alla legge che i poli di nome contrario si attraggono mentre quelli dello stesso nome si respingono, si deve dare il nome di *polo australe* all'estremità dell'ago che guarda il nord della terra, e di *polo boreale* a quella che guarda il sud; ma ordinariamente si chiama polo nord quello che guarda il nord, e polo sud quello che guarda il sud.

Si chiama *bussola di declinazione* ogni apparecchio atto a servire alla misura dell'angolo di declinazione; o reciprocamente a determinare la direzione di sud a nord, vale a dire la meridiana, quando la declinazione magnetica è conosciuta. Perciò ordinariamente consiste in una scatola circolare di rame o di legno ricoperta da un vetro, al centro della quale

è sospeso su di una punta un ago magnetico mediante un cappelletto di acciajo o di agata. Il piano della scatola al di sopra del quale si muove l'ago, è accuratamente diviso nella sua circonferenza ed anco talvolta fornito di una rosa de'venti. Quando la bussola deve prender posto tra gl' istrumenti di un osservatorio, allora è formata nel modo che indica la *Fig.* 95, *Tav.* III. L'ago magnetico è al solito bilicato nel modo che abbia mo indicato entro una scatola di rame coperta da un vetro, nel fondo della quale v' ha un cerchio graduato su cui leggonsi le divisioni alle quali corrispondono le punte dell'ago. Questa scatola può girare intorno, rimanendo fisso il suo piede livellato mercè le viti *v*, *v'*. Intorno alla scatola sta un cerchio graduato *z z* che chiamasi *cerchio degli azimut.* Due vernieri, uno dei quali si vede in *n*, sono fissati agli orli della scatola alle estremità di un medesimo diametro, e servono a misurare di quanti gradi si fa essa girare, sia partendo dallo zero, sia da una divisione qualunque del cerchio degli azimut. Un canocchiale *t t* è sostenuto dall'asse *e e'* parallelo al cerchio degli azimut, ed il suo mezzo corrisponde sulla punta che sostiene l'ago. Il canocchiale porta un nonio *i s*, che scorrendo sull'arco graduato *u u*, fa conoscere l'angolo della visuale coll'orizzonte.

Per osservare con siffatto istrumento la declinazione, si fa rotare la scatola per condurre nel campo del canocchiale un astro conosciuto di cui si determina l'altezza, ed in pari tempo si legge la divisione corrispondente del cerchio dell'ago e del cerchio degli azimut; si avrà così l'angolo che il meridiano magnetico fa col piano verticale o azimut dell'astro nel momento dell'osservazione. Trovato poi coi metodi astronomici l'angolo che l'azimut dell'astro fa col meridiano del luogo, se ne deduce quello che questo fa col meridiano magnetico, ossia la declinazione.

La *bussola nautica*, detta anche *compasso delle variazioni*, (*Tav.* III, *Fig.* 96) è quella di cui si fa uso sulle navi. Essa è una bussola di declinazione alquanto diversamente conformata. Prima di tutto la scatola di rame che contiene l'ago magnetico è situata in modo che possa tenersi presso a poco orizzontale, malgrado le agitazioni del mare, il che si consegue

con la così detta *sospensione di Cardano*, che consiste nell'essere sostenuta da due anelli concentrici mobili intorno a due assi orizzontali che segansi ad angoli retti. Sull'ago è incollato un disco di cartone con lembo graduato sul quale è tracciata una stella o rosa de'venti a 32 raggi o rombi, uno dei quali corrisponde sul polo nord dell'ago ed è contrassegnato con un giglio. Invece del canocchiale v'hanno sull'orlo della scatola due traguardi per prendere un azimut. Nella navigazione a piccole distanze si va colla bussola corretta, perchè a piccole distanze non essendovi sensibili variazioni di declinazione, non si ha bisogno di determinarla in mare, e si tiene conto di quella del luogo d'onde si parte. La bussola in questo caso è senza traguardi. Per dirigere una nave colla bussola, si esamina prima su di una carta marina, secondo qual rombo di vento la nave debba dirigersi per arrivare al luogo destinato. Allora il timoniere, coll'occhio sempre rivolto alla bussola, gira il timone fintantochè il rombo determinato segnato sulla rosa coincida con una *linea di fede*, che passa per due punti segnati sui lembi della scatola nella direzione della chiglia della nave.

Si ritiene generalmente per inventore della bussola l'amalfitano Flavio Gioja che visse nel tredicesimo secolo. Molti per altro lo negano, mostrando come i Chinesi già conoscessero l'uso dell'ago calamitato. E se realmente il Gioja non fu lo scopritore della virtù dell'ago di dirigersi sotto l'azione della terra, e neanco fu il primo ad usarne nella navigazione, sembra però che egli ne introducesse l'uso in Europa, e da lui avesse il nome di bussola l'istrumento destinato a dirigere le navi. Sembra inoltre che quel giglio, che ordinariamente vien disegnato sul polo nord dell'ago, tragga origine dallo stemma degli Angioini, che ai tempi di Gioja regnavano negli stati napoletani. Gli antichi ai quali era ignota la bussola non aveano altra guida che il sole o la stella polare; onde erano costretti di navigare poco lungi dalle spiagge per tema di smarrirsi quando il cielo veniva a coprirsi di nubi.

La bussola di declinazione è pure impiegata in agrimensura, negli scavi delle miniere ec., ed è variamente modificata a seconda di questi diversi suoi usi.

Le varie applicazioni della bussola di declinazione non possono riuscire esatte se non quando l'asse magnetico dell'ago, cioè la retta che passa pei suoi due poli, coincida coll'asse di figura, ossia colla retta che ne congiunge le estremità. Ora siccome generalmente una tal condizione non si trova soddisfatta, si corregge questa causa di errore col metodo del rovesciamento. Perciò l'ago non è fissato al cappelletto, ma gli è soltanto sovrapposto, onde si possa toglierlo, rivolgerlo e collocarlo di nuovo sul medesimo, in modo che la superficie inferiore diventi superiore e viceversa. Prendendo la media tra la declinazione allora segnata dall'ago e quella che indicava prima, si ha la declinazione esatta. Difatti, se la retta *e e* rappresenta l'asse di figura dell'ago e la retta *a b* il suo asse magnetico (*Tav.* III, *Fig.* 97), la vera declinazione non è segnata dall'arco *e N*, il quale è troppo grande, ma dall'arco *a N*. Ora rivolgendo l'ago, l'asse magnetico ritorna esattamente nella sua primitiva direzione, e l'estremità *e* dell'ago, passando allora tra i punti *a* ed *N*, segna un arco che è minore della vera declinazione precisamente di una quantità eguale a quella di cui la supera il primo. Quindi la media fra i due archi osservati dà la vera declinazione.

Inclinazione dell'ago calamitato. Nella descrizione che abbiamo fatta della bussola declinatoria, abbiamo supposto che l'ago calamitato fosse sospeso pel suo centro di gravità; ma a vero dire questo punto viene determinato dopo che l'ago è stato calamitato. Difatti, se si determina avanti, vale a dire se si sospende ad un filo di seta senza torsione un ago di acciajo non calamitato, in modo che sia perfettamente orizzontale, si vede che dopo essere stato calamitato non conserva più la sua orizzontalità, quantunque rimanga sospeso nella stessa guisa. Esso comincia dal prendere l'ordinaria direzione di sud-est a nord-ovest, poi vedesi il suo polo nord inclinarsi come se dalla parte di questo polo la metà dell'ago fosse più pesante dell'altra. Nondimeno è facile assicurarsi direttamente che la magnetizzazione non ha affatto aumentato il peso dell'ago in veruna delle sue parti. L'effetto manifestatosi è il resultato della stessa azione che determina la direzione costante

dell'ago di declinazione, e dicesi *inclinazione*. Essa misurasi dall'angolo che fa coll'orizzonte un ago che può muoversi liberamente attorno al suo centro di gravità nel piano del meridiano magnetico.

La bussola d'inclinazione (*Tav.* III , *Fig.* 98) è costituita da un ago magnetico g g' traversato nel suo centro di gravità da un asse cilindrico di acciajo levigato, che riposa colle sue due estremità su due coltelli di agata ben taglienti. Questo asse di rotazione coincide esattamente col centro di un cerchio verticale l l' graduato. Questo cerchio verticale riposa sopra un sostegno mobile intorno ad un asse verticale x x', la cui direzione passa pel suo centro e quindi per l'asse di sospensione dell'ago. Un cerchio orizzontale z z', chiamato *cerchio degli azimut*, permette di determinare ad ogni momento gli angoli descritti dal cerchio verticale. Quando questo cerchio verticale è situato nel meridiano magnetico, allora è facile il misurare la inclinazione, ma quando si trova in un altro piano, l'angolo d'inclinazione aumenta; e diviene di 90°, ossia l'ago si riduce verticale, quando il piano del cerchio anzidetto è perpendicolare al meridiano magnetico, perocchè l'azione magnetica della terra sollecita l'ago mediante due forze, le quali agiscono ambedue nel piano del meridiano magnetico, ma l'una orizzontalmente e l'altra verticalmente; e quando l'ago è nella posizione indicata, essendo distrutta l'azione della componente orizzontale, esso deve ubbidire interamente alla componente verticale. Si ricava dunque da questo una regola per collocare il cerchio verticale nel meridiano magnetico, la quale consiste nel girare questo cerchio fino a che l'ago si riduce verticale, e poi partendo da questa giacitura girarlo intorno dell'asse x x' per 90° misurati sul cerchio orizzontale z z'. L'angolo che fa allora l'ago calamitato col diametro orizzontale è l'angolo d'inclinazione.

Però s'incontrano due cause di errore, e sono: che l'asse magnetico dell'ago non coincida col suo asse di figura, e che il suo centro di gravità non coincida coll'asse di sospensione. Il primo errore si corregge col metodo del rovesciamento, come abbiamo indicato per la bussola di declinazione; il secondo fa sì che l'angolo d'inclinazione sia troppo piccolo o

troppo grande, a seconda che il centro di gravità si trova al di sopra o al di sotto del centro di sospensione; perchè nel primo caso l'azione della gravità si oppone a quella del magnetismo terrestre, mentre nel secondo vi si aggiunge. Si corregge questo errore invertendo i poli dell'ago, ciò che si ottiene confricandolo coi poli contrarj di due calamite, in modo che sopra ciascun polo dell'ago passi un polo dello stesso nome. Siccome allora l'ago si dispone nel verso contrario, così se il suo centro di gravità era sopra del punto di sospensione, ora si trova al di sotto, e l'inclinazione che veniva indicata, e che era minore della vera, ora diventa maggiore; e il suo esatto valore si avrà prendendo la media delle due osservazioni così effettuate.

Dopo quanto abbiamo esposto intorno all'inclinazione dell'ago magnetico, s'intenderà facilmente che l'ago di declinazione affinchè possa muoversi in un piano orizzontale non può star sospeso o bilicato pel suo centro di gravità senza un contrappeso che distrugga la inclinazione, il quale contrappeso dovrà esser maggiore dove la inclinazione è più grande.

Azione magnetica della terra sul ferro dolce. L'azione magnetica della terra si mostra anche capace di magnetizzare il ferro. Se si tiene verticalmente, o meglio nella direzione dell'ago inclinatorio, una barra di ferro dolce di un metro di lunghezza, si osserva che acquista due poli; vale a dire il polo nord alla sua estremità inferiore, ed il polo sud alla sua estremità superiore. E se mentre il ferro dolce è così magnetizzato per l'azione della terra, si percuote o si torce o gli si fa subire qualche altra azione meccanica, il suo magnetismo diviene permanente, vale a dire non cessa anche dopo il suo allontanamento dalla posizione in cui avealo acquistato. Anche l'ossidazione dell'aria produce il medesimo effetto. Egli è a questa cagione che è dovuto il magnetismo di cui sono dotati tutti i pezzi di ferro che sono rimasti lungo tempo in una stessa posizione, come sarebbero le aste delle torri, le barre che si dispongono nelle costruzioni ec. Anche gli arnesi di ferro o di acciajo dei diversi mestieri presentano

lo stesso fenomeno, e ciò a motivo dei continui movimenti vibratorj cui vanno soggetti nel loro uso.

Errori della declinazione osservata sulle navi. Nelle navi si fa uso di molto ferro di cui parte entra nella struttura stessa della nave e parte spetta agli attrezzi della medesima. I pezzi del primo genere sono fissi, mentre quelli del secondo, come le ancore, le catene ec., sono più o meno mobili. Tutti questi pezzi di ferro perturbano la declinazione in modo da potervi indurre talvolta un errore di 15° in 20°. Questa perturbazione avviene per tre cause differenti, cioè: 1.° per l'attrazione ordinaria del ferro per l'ago magnetico; 2.° pel magnetismo permanente che alcuni pezzi di ferro possono avere per le ragioni di sopra indicate; 3.° infine pel magnetismo temporaneo che i varj pezzi di ferro acquistano per l'azione della terra secondo le loro posizioni rispetto al meridiano magnetico.

Barlow ha proposto varj metodi per evitare i pericolosi errori a cui potrebbe la navigazione andare incontro per le cause ora indicate. Uno di questi metodi consiste nel porre in vicinanza della bussola una sbarra di ferro dolce, la cui azione sull'ago sia equivalente all'azione totale di tutto il ferro sparso sulla nave. Si determina a forza di tentativi la posizione che le si deve dare affinchè la sua azione equivalga a quella di tutto il ferro del bastimento. Trovata questa posizione ecco il metodo per correggere le osservazioni di una bussola. Si osserva la direzione dell'ago, primieramente dopo rimossa la sbarra, e poi dopo di averla rimessa esattamente al suo posto. La deviazione del meridiano magnetico alla seconda osservazione dovrebbe resultare doppia di quella ottenuta alla prima: il paragone dei resultati farà dunque conoscere la deviazione dovuta al ferro della nave; e quindi la correzione da farsi.

Un altro metodo è stato parimente impiegato da Barlow, e consiste nel porre la nave in tutte le direzioni possibili, e nel paragonare in ognuna di esse la direzione della bussola con quella di un ago calamitato rimasto sulla riva, a fine di determinare praticamente la correzione che convien fare alla declinazione osservata per avere quella esatta. Ma questo pro

cesso, come anche il precedente, esige una serie di operazioni distinte per ogni particolare bastimento, le quali inoltre non riescono senza qualche difficoltà pratica.

Misura dell' intensità del magnetismo terrestre. Il miglior metodo adoprato per avere questa misura è quello del Borda, il quale è fondato sui principj seguenti. Un ago liberamente sospeso quando si rimuova un poco dalla sua posizione e si abbandoni a sè stesso, fa numerose oscillazioni se è regolarmente calamitato e se l'asse di oscillazione passa pel suo centro di gravità. Esso oscilla per lo sforzo della coppia magnetica della terra, nel modo stesso che fa un pendolo per l'azione della gravità; e se il magnetismo dell'ago rimarrà invariabile, una differenza nella durata delle oscillazioni non potrà dipendere che da una diversa intensità delle forze magnetiche che lo fanno muovere. Onde mettere in pratica questi principj, si adopra una piccola sbarra calamitata sospesa ad un filo senza torsione, che si scosta dal meridiano magnetico per l' influenza di un pezzo di ferro che tosto si allontana. Si contano le oscillazioni che compie in un dato tempo, per esempio in un minuto; il quadrato di questo numero serve a misurare l'intensità della forza direttrice decomposta orizzontalmente. Nota essendo l' inclinazione è facile concludere l' intensità della forza direttrice totale. La serie di osservazioni fatte con due sbarre differenti sono comparabili quando è conosciuto il rapporto delle energie magnetiche di ciascuna sbarra, ossia quello de'quadrati del numero delle oscillazioni fatte contemporaneamente nel medesimo luogo ed in tempi eguali. Affinchè le osservazioni d' intensità sieno comparabili è necessario inoltre che sieno fatte alla stessa temperatura, attesa l' influenza del riscaldamento sul magnetismo. Essendo fatte a temperature diverse è necessario correggere i resultati mediante le tavole di Rupfer.

Variazioni della declinazione magnetica. La declinazione che fa col meridiano terrestre il meridiano magnetico varia da un luogo all'altro: in Europa la punta dell'ago che è volta al nord, guarda occidente, dimodochè la declinazione dicesi *occidentale.* In America e nel nord dell'Asia è *orientale.* Vi

sono luoghi ne' quali la declinazione è nulla, e questi cadono sopra due linee assai irregolari, le quali diconsi *linee senza declinazione*. Una di queste è situata nell' Oceano Atlantico fra l'antico e il nuovo mondo; taglia il meridiano di Parigi al 65° di latitudine australe, rimonta al nord-ovest fino a 35° di longitudine, e diviene quasi coincidente colla linea che va da tramontana a mezzodì lungo le coste del Brasile. La seconda linea ha per punto di partenza il grande arcipelago, si alza verso tramontana e viene a traversare la parte orientale della Siberia. Queste linee senza declinazione si spostano; hanno un movimento secolare diretto da levante a ponente; ma lo spostamento pare non uniforme in tutta la loro estensione, imperocchè da 150 anni in poi la declinazione non ha sensibilmente cambiato alla Nuova-Olanda. Sono state pure tracciate delle linee di *eguale declinazione*, le quali sono sparse sul globo senza alcuna simetria e senza alcuna notevole relazione coi grandi circoli del globo.

In ogni luogo la declinazione va soggetta a variazioni che sembrano dipendenti dal moto delle linee senza declinazione. Così per esempio, a Parigi nel 1633 non v'era declinazione, mentre per l' innanzi era stata orientale. Da quell'epoca divenne occidentale e andò successivamente crescendo, in guisa che mentre nel 1678 era di 1°, 30′, nel 1700 divenne di 8°, 10′, nel 1780 di 19°, 85′, e raggiunse il suo massimo nel 1823, in cui divenne di 22°, 28′. Ora poi va diminuendo per modo che nel 1850 era già arrivata a 20°, 34′.

Oltre queste variazioni secolari, la declinazione ne subisce anche delle *annue* e delle *diurne*. Le prime furono costatate da Cassini, il quale nel 1784 osservò che dall'equinozio di primavera al solstizio di estate l'ago, a Parigi, retrocedeva verso l'est, e che invece si avanzava verso l'ovest nei nove mesi successivi. Il Gilpin confermò questa legge con osservazioni fatte a Londra nel 1800. Secondo le osservazioni di Arago le indicate variazioni avvengono nelle epoche indicate quando la declinazione è occidentale e va aumentando d'anno in anno, e la loro ampiezza diminuisce a misura che allentasi il movimento secolare, fino a sparire quando la declinazione giunge al limite del suo movimento occidentale. Quan-

do poi la declinazione diminuisce di anno in anno, si osserva di nuovo un' oscillazione annua, ma il moto verso est ha luogo dal settembre al dicembre. Le variazioni diurne sono più notabili nelle regioni settentrionali, ove l'ago non resta mai stazionario. In Europa l'estremità nord dell'ago va costantemente verso l'ovest dopo l'alzata del sole fino ad un'ora dopo mezzogiorno; e quindi torna verso l'est, in modo da riprendere quasi esattamente verso dieci ore di sera, la posizione che occupava nella mattina. Di notte l'ago presenta pochissime variazioni spostandosi però un poco verso l'ovest. Le variazioni diurne sono assai deboli e non possono costatarsi se non per mezzo di lunghi aghi. A Parigi l'ampiezza media delle variazioni diurne è pei mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto e settembre di 13′ a 15′, e per gli altri mesi di 8 a 10′. In alcuni giorni si eleva a 25′, e in altri non oltrepassa 5′. L'ampiezza delle variazioni diurne decresce dai poli verso l'equatore, ove è piccolissima. Vicino all'equatore v' ha una linea senza variazione diurna. Nell'emisfero australe queste variazioni hanno luogo nel verso contrario, cioè il polo nord va verso l'est al mattino, e la sera torna all'ovest.

Infine la declinazione magnetica può essere perturbata nelle sue variazioni diurne da molte cause accidentali, quali sono le aurore boreali, le eruzioni vulcaniche, i terremoti, le scariche elettriche. L'effetto delle aurore boreali si fa sentire a notevoli distanze; così per esempio, quelle che sono visibili soltanto nei paesi più settentrionali di Europa agiscono sull'ago a Parigi, facendolo deviare perfino di 20′. Nelle regioni polari queste oscillazioni hanno talvolta l'ampiezza di alcuni gradi. Il moto irregolare dell'ago nel giorno che precede l'aurora boreale è un pronostico del fenomeno. Nel tempo dell'eruzione del Vesuvio del 1839 fu veduta nell' osservatorio di Napoli diminuire rapidamente la declinazione dell'ago di più di un mezzo grado. Il fulmine poi cadendo in vicinanza di un ago calamitato, altera il suo stato magnetico, e qualche volta ne rovescia i poli.

Variazioni della inclinazione magnetica. L'inclinazione cresce in generale colla latitudine e nel verso contrario nei due emisferi. Partendo dalla nostra latitudine e andando verso l'equatore, seguendo sempre il medesimo meridiano, si os-

serva una continua diminuzione, e si trova un punto in cui esso è nullo, vale a dire l'ago si pone orizzontale. Oltrepassando questo punto l'inclinazione ricomparisce, ma nel verso contrario, vale a dire il polo nord che prima era in basso, ora va in alto, ed il polo sud invece si abbassa al di sotto della linea orizzontale. Lo stesso si osserva su di ogni meridiano, per cui si deduce esservi presso all'equatore una linea senza inclinazione, e questa si chiama *equatore magnetico della terra.* La linea dell'equatore magnetico è molto sinuosa e forma assai irregolarmente un gran circolo della terra, il quale taglia in varj punti l'equatore terrestre. Gli osservatori non sono però d'accordo nel tracciarne la forma e nell'indicarne i nodi, vale a dire i punti d'incontro coll'equatore terrestre; ma è da supporsi che la differenza de'resultati ottenuti da essi ad epoche diverse, derivi da uno spostamento cui vada soggetta col tempo questa linea senza inclinazione.

Se invece di dirigerci verso l'equatore anderemo verso nord, vedremo la inclinazione andare crescendo, e giungeremo a un punto in cui l'ago si pone verticale come il filo a piombo, colla punta nord rivolta verso terra; e questo punto di massima inclinazione, si chiama *polo magnetico boreale* della terra. Questo punto fu dal capitano Ross trovato a 70° di latitudine e 90° di longitudine occidentale. E poichè passato l'equatore magnetico la inclinazione cresce pure colle latitudini, ma in verso contrario a quello del nostro emisfero, è da supporsi che vi debba essere un altro punto in cui l'angolo d'inclinazione sia di 90°, ma colla punta sud dell'ago al disotto, il qual punto sarebbe il polo magnetico australe della terra. Desso però non è anche stato incontrato, perocchè nessun naviglio ha potuto spingersi tant'oltre.

La inclinazione va soggetta, come la declinazione, a variazioni secolari, annue ed anche diurne. A Parigi nel 1671 era di 75°, nel 1798 di 96°, 51′, nel 1835 di 67°, 24′. Queste variazioni devono essere legate allo spostamento dell'equatore magnetico. Ne segue che anche i poli magnetici non debbono avere una posizione fissa.

Distribuzione dell' intensità magnetica alla superficie della terra. Le osservazioni d'intensità magnetica raccolte in un gran numero di luoghi hanno condotto l' Humboldt ad ammettere

che l'intensità magnetica del globo terrestre cresca colla latitudine, vale a dire andando dall'equatore verso i poli. La linea senza inclinazione magnetica è al tempo stesso quella di minore intensità. Ai poli l'intensità magnetica sembra essere una volta e mezzo più grande che all'equatore.

Riunendo con linee i punti che alla superficie terrestre hanno una eguale intensità magnetica si formano delle curve che hanno ricevuto il nome di *linee isodinamiche*. Duperrey ne tracciò nove al nord dell'equatore magnetico, e trovò che queste linee per la loro curva e direzione hanno una grande analogia colle linee *isoterme* o di eguale temperatura.

Variazioni della intensità magnetica. L'intensità magnetica della terra varia colle ore del giorno: giunge al suo minimo fra le dieci e le undici del mattino ed al suo massimo fra quattro e cinque ore dopo mezzogiorno. Essa presenta anche delle variazioni irregolari, ed al pari della inclinazione e della declinazione subisce delle perturbazioni accidentali sotto l'influenza delle aurore boreali. In generale si osserva che l'influsso di questa meteora tende a indebolire l'intensità magnetica.

Magnetizzazione per mezzo delle calamite. Volendo magnetizzare l'acciajo per mezzo delle calamite si usano tre metodi, vale a dire quello del contatto semplice, del contatto separato, e del doppio contatto. Qualunque di questi tre metodi si prescelga per calamitare una sbarra di acciajo, la potenza magnetica che questa può acquistare ha un limite che dipende dal grado della sua tempera e dalla forza delle calamite che si adoprano. Quando si è raggiunto questo limite si dice che la sbarra è calamitata a *saturazione*. Se nel magnetizzarla si oltrepassa questo limite, la sbarra perde ben tosto l'eccesso del magnetismo acquistato sotto l'influenza della calamita. Nessun metodo può forzare una sbarra a conservare maggior magnetismo di quello che ne comporta la saturazione.

Il *metodo del contatto semplice* consiste nel fare scorrere il polo di una forte calamita da un capo all'altro della sbarra che si vuole calamitare, e nel ripetere parecchie volte lo strisciamento sempre nello stesso verso. L'estremità della sbarra da cui si è cominciata l'operazione acquista un polo eguale a

quello col quale si opera lo strisciamento, e l'altra il polo contrario. Convien guardarsi dallo strisciare colla calamita sull'ago nel verso opposto a quello con cui si è cominciato, perocchè operando in tal guisa si distruggerebbe ogni volta una parte del magnetismo comunicato. Con questo processo non si comunica all'acciajo che una debole potenza magnetica; e perciò non può essere applicato se non a piccole sbarre: inoltre esso ha l'inconveniente di sviluppare non di rado sulla lunghezza della sbarra varj poli magnetici, o *punti conseguenti*, come si dicono, disposti in modo che due poli di nome contrario trovansi sempre prossimi fra loro.

Il *metodo del contatto separato*, proposto da Knight in Inghilterra nel 1745, consiste nel collocare i due poli opposti di due calamite d'egual forza nel mezzo della sbarra che vuolsi calamitare e nel farli scorrere simultaneamente uno verso un capo della sbarra, l'altro verso l'altro, tenendoli in direzione verticale. In seguito si porta di nuovo ciascuna calamita verso il mezzo della sbarra e si ripete la stessa operazione. Dopo di avere operati in questo modo parecchi strisciamenti sulle due facce della sbarra questa è calamitata. Duhamel perfezionò questo metodo collocando le due estremità della sbarra che vuolsi calamitare sui poli opposti di due calamite fisse, la cui azione concorre con quella delle calamite mobili che servono ad operare lo strisciamento. La posizione relativa dei poli dev'essere quale dimostra la figura (*Fig.* 99, *Tav.* V). Questo processo è quello che dà la magnetizzazione la più regolare.

Nel *metodo del doppio contatto* dovuto a Mitchell, le due calamite che servono ad operare lo strofinamento sono pure collocate nel mezzo della sbarra che vuolsi calamitare e coi poli opposti rimpetto l'uno all'altro; ma invece di farle scorrere per versi contrarj verso le estremità della sbarra si tengono ad una distanza fissa per mezzo di un piccolo pezzo di legno interposto (*Tav.* V, *Fig.* 99), e si fanno scivolare insieme dal mezzo ad una delle estremità, indi da questa all'altra, e così di seguito, per un egual numero di volte, sopra ciascuna delle due metà della sbarra. Epino nel 1758 perfezionò questo metodo, collocando come nel processo del con-

tatto separato, due forti sbarre calamitate sotto quella che vuolsi calamitare, e tenendo le calamite mobili inclinate ad essa di 15 a 20°. In tal modo si ottengono delle sbarre fortemente calamitate, ma che presentano spesso dei punti conseguenti.

Devesi notare che in tutti i descritti processi di magnetizzazione, le calamite non perdono nulla della loro forza, d'onde si deduce che i fluidi magnetici non passano da una sbarra all'altra. Riunendo insieme varie sbarre di acciajo calamitate, e disponendole a scaglioni, in modo che le estremità dell'una siano più innanzi di quelle dell'altra, e così successivamente, si ottengono dei *fasci* o *magazzini magnetici* dotati di molta forza (*Fig.* 92, *Tav.* III). Se le estremità delle sbarre si trovassero sovrapposte, le sbarre non tarderebbero a smagnetizzarsi.

Azione delle calamite su tutti i corpi. Fino a questi ultimi tempi si è creduto che la calamita agisse soltanto sul ferro, sull'acciajo, sul nichelio e sul cobalto; ma oggi è dimostrato in modo sicuro che essa opera su tutti i corpi. Coulomb, nel 1802, fu il primo a dubitare di questo fatto, avendo osservato che degli aghi di differenti materie facevano nel medesimo tempo un numero diverso di oscillazioni, secondo che si facevano oscillare liberamente, ovvero in mezzo ai poli opposti di due grandi sbarre calamitate. Non di meno questo fatto fu in principio spiegato, ammettendo la presenza di piccole quantità di ferro nei corpi sottoposti all'esperienza. Frattanto Lebaillif osservava che il bismuto e l'antimonio esercitavano una forza repulsiva sull'ago calamitato; e faceva in tal modo nascere il dubbio che la calamita spiegasse azione, sebbene diversa, su tutti i corpi; vale a dire ne attraesse alcuni e ne respingesse altri. Le esperienze di Michele Faraday confermarono pienamente queste congetture, e stabilirono esattamente in che consisteva l'azione generale della calamita sui corpi. Esse mostrarono che il magnetismo esercita effettivamente la sua azione sopra i corpi reputati innanzi non magnetici, ma in due maniere diverse; vale a dire che alcuni di essi ridotti ad aghi mobili si dirigono secondo la linea dei poli della calamita, detta dal Faraday *linea assiale o*

di forza magnetica, ed altri si dispongono perpendicolarmente alla medesima secondo la linea che dicesi *equatoriale*. I primi furono chiamati da Faraday *corpi paramagnetici* o semplicemente *magnetici*; mentre i secondi furono da lui detti *diamagnetici*.

Sono fra i primi il ferro, il nichelio, il cobalto, il cromo, il manganese, il platino, il palladio, l'osmio. Anche le dissoluzioni di questi metalli si comportano nella stessa guisa. Situate in tubetti di vetro sospesi fra i poli di una forte calamita si dirigono tutte nella linea assiale. Sono invece diamagnetici i seguenti metalli: cioè il bismuto, l'antimonio, lo zinco, lo stagno, il mercurio, il rame, l'oro, e le seguenti materie cristallizzate; vale a dire il quarzo, il gesso, l'allume, il sal marino e lo spato d'Islanda. Agiscono pure nella stessa guisa di questi ultimi corpi, l'acqua, l'alcool, l'etere, gli acidi solforico, nitrico, idroclorico, le soluzioni alcaline, il fosforo, le resine, il vetro ec.

I corpi magnetici, oltre alla proprietà che presentano di disporsi nella linea assiale, si distinguono anche per un altro carattere, quello cioè di essere attratti da qualsiasi polo della calamita. I corpi diamagnetici invece sono respinti da ambedue i poli di questa; e la loro disposizione nella linea equatoriale, è una conseguenza di questa repulsione. Faraday riconobbe delle proprietà magnetiche e diamagnetiche anche ai gas. Egli osservò che l'ossigeno, il quale è magnetico alla temperatura ordinaria, diventa diamagnetico alla temperatura della fiamma. Bancalari, prima di Faraday, avea osservato che la fiamma di un lume o di una candela collocata tra i poli di una calamita, è da questi respinta. Secondo Faraday questo fatto dipenderebbe dal diamagnetismo che acquista l'ossigeno dell'aria ad un'alta temperatura.

Le esperienze relative al diamagnetismo dei corpi necessitano delle poderose calamite, quali si ottengono mediante il passaggio della corrente elettrica, e di cui tratteremo fra breve.

3.° Dell' Elettromagnetismo.

Quella parte della scienza dell'elettricità, che studia i rapporti esistenti fra le correnti elettriche e le calamite, prende il nome di *elettromagnetismo*.

Principj dell'elettromagnetismo. Il primo fatto che indicasse tali rapporti, fu quello, molto importante e fondamentale in vero, scoperto nel 1820 dal fisico danese Oersted. Ecco in cosa consiste. Se si distende orizzontalmente nella direzione del meridiano magnetico un filo di rame al di sopra di un ago calamitato mobile, non appena si fa passare per esso la corrente elettrica, l'ago è deviato dalla sua posizione di equilibrio, tende a prendere una direzione perpendicolare alla corrente, e tanto più si accosta alla medesima, quanto più essa è intensa.

In quanto al verso che prendono i poli dell'ago, la indicata deviazione va soggetta alle seguenti leggi.

1.° Se la corrente passa al di sopra dell'ago e va dal sud al nord, l'estremità nord dell'ago è deviata verso l'ovest.

2.° Se la corrente passa al di sotto dell'ago, sempre dal sud al nord, il polo nord è deviato all'est.

3.° Quando la corrente passa al di sopra dell' ago nella direzione di nord a sud, il polo nord si dirige verso l'est.

4.° Infine la deviazione avviene verso l'ovest quando la corrente si dirige dal nord al sud al di sotto dell'ago.

Per esprimere con facilità questi rapporti di posizione e di direzione, Ampère immaginò di rappresentare la corrente con un individuo, in cui la corrente sia diretta dai piedi alla testa e che abbia sempre la faccia rivolta verso l'ago. Personificando in tal guisa la corrente, si riconosce facilmente che nelle quattro posizioni sopra indicate, il polo nord dell'ago è sempre deviato verso la sua sinistra.

Abbiamo detto che la corrente tende a volgere l'ago perpendicolarmente ad essa, e che l'ago si avvicina tanto maggiormente a questa posizione quanto più intensa è la corrente o quanto più gli è vicina, ma che non raggiunge mai esat-

tamente tal posizione. Ciò dipende naturalmente dall'azione magnetica della terra che richiama costantemente l'ago nella posizione del meridiano magnetico. Per la qual cosa s'intende facilmente che se si adoprerà un sistema di aghi astatico, questo si disporrà esattamente nella direzione della perpendicolare alla corrente, col polo nord a sinistra. Egli è pure evidente, che se si terrà fissa la calamita e si adoprerà una corrente che passi entro un conduttore mobile, si vedrà questo disporsi perpendicolarmente all'asse della calamita, in modo che il suo polo nord resti a sinistra della corrente. Questa esperienza si fa accostando una verga calamitata qualunque al conduttore mobile della *Fig.* 100, *Tav.* III.

Biot e Savart cercarono la legge dell'azione della corrente su di una calamita a diverse distanze, e stabilirono che *l'intensità di quest'azione è in ragione inversa della semplice distanza.*

Galvanometri. Poco dopo la scoperta dell'Oersted, Schweigger in Germania pensò di applicare l'azione dell'elettricità sull'ago magnetico, a costatare la esistenza delle correnti, e a determinarne la direzione e l'intensità. Immaginò per tale oggetto quell'importante istrumento, già da noi più volte rammentato col nome di *galvanometro*, ma che viene anche chiamato *moltiplicatore* e *reometro.*

Per intenderne il principio, consideriamo un ago calamitato sospeso ad un filo di seta senza torsione, ed intorno al quale si avvolga nel piano del meridiano magnetico un filo di rame che formi un circuito completo attorno all'ago nel verso della lunghezza del medesimo (*Tav.* III, *Fig.* 101). Quando questo filo è attraversato da una corrente, resulta dalle leggi di sopra enunciate, che in tutte le parti del circuito un osservatore, disteso sul filo nel verso della corrente indicata dalle frecce e rivolto verso l'ago *a b*, avrebbe la sua sinistra verso lo stesso punto dell'orizzonte, e che per conseguenza dappertutto l'azione della corrente tende a deviare l'ago nello stesso verso. Adunque le azioni dei quattro rami del circuito concorrono a deviare il polo nord in una sola direzione. Vedesi adunque chiaramente che coll'avvolgere il filo di rame intorno all'ago, nella stessa sua direzione, si è *moltiplicata*

l'azione della corrente. Perciò se in luogo d'un circuito solo se ne formano parecchi, l'azione si moltiplica viepiù e la deviazione dell'ago aumenta. Non di meno l'azione della corrente non si moltiplicherebbe indefinitamente col rinnuovare le circonvoluzioni del filo, perchè sappiamo dalla teoria di Ohm che la resistenza che un filo conduttore oppone alla corrente aumenta colla sua lunghezza; e che l'effetto della medesima è tanto maggiore quanto più debole è la forza elettromotrice, o minore la resistenza del circuito interno. Perciò si fa il galvanometro a filo corto e grosso per le correnti termoelettriche, e a filo lungo e sottile per le idroelettriche. Ed infatti benchè da una parte vi sia vantaggio nell'allungare il filo, perchè in tal modo si ripetono i giri e le azioni sopra l'ago, nondimeno si giunge presto colle sorgenti termoelettriche ad un limite, in cui diventa maggiore la perdita per l'accresciuta resistenza prodotta dall'allungamento. Questo limite è assai più lontano adoprando correnti idroelettriche o voltiane, perchè in esse è assai maggiore la forza elettromotrice, come anche la resistenza del circuito interno.

Siccome l'azione direttrice della terra tende continuamente a mantenere l'ago nel meridiano magnetico, e quindi si oppone all'azione della corrente, così rendesi molto più sensibile l'effetto di quest' ultima adoprando un sistema di due aghi egualmente calamitati disposti parallelamente in modo che i poli contrarj si guardino, ed uniti invariabilmente insieme mediante un sottilissimo filo di ottone (*Tav.* III, *Fig.* 102). L'azione della terra, esercitandosi in senso contrario su i due aghi, diviene nulla sul loro insieme. Questo sistema dicesi *astatico*. Uno dei due aghi è posto in mezzo al circuito e l'altro al di sopra. Per tale disposizione le azioni delle correnti sui medesimi si sommano. Infatti l'azione del circuito completo tende, giusta il verso della corrente indicato dalle frecce, a deviare verso l'ovest il polo nord dell'ago interno $a\ b$, e l'ago esterno $a'\ b'$ va soggetto all'azione di due correnti contrarie $m\ n$ e $p\ q$, delle quali la prima, essendo la più vicina, esercita un'azione prevalente; e siccome questa corrente passa al disotto dell'ago $a'\ b'$, che è disposto nel verso contrario dell'ago $a\ b$, tende a deviarne il polo nord verso l'est ed il polo sud

verso l'ovest, vale a dire nello stesso verso del polo nord dell'altro ago. L'applicazione del sistema astatico al galvanometro devesi al nostro Nobili; ed è mediante essa che questo istrumento ha acquistato una mirabile sensibilità. Non conviene però affatto distruggere l'azione della terra, rendendo complètamente astatico il sistema, perocchè in tal caso l'ago si disporrebbe in direzione perpendicolare del filo per ogni corrente, quantunque debole, ed inoltre sarebbe indifferente in tutte le posizioni; mentre è necessario per cominciare un'esperienza che l'ago e i lati maggiori del rettangolo galvanometrico siano paralleli, per cui converrebbe allora ogni volta girare l'apparecchio per ricondurre l'ago in tal posizione. Si lascia perciò un po' più di magnetismo ad uno degli aghi, e ciò basta perchè il sistema, dopo essere stato deviato e che è cessata la corrente torni alla sua posizione iniziale. Sembra a prima vista che facendo il galvanometro con un solo ago debolmente calamitato si dovesse avere la stessa sensibilità che con un sistema astatico, ma è facile osservare che se per tal modo si ha meno forza direttrice da combattere, si ha eziandio minore azione da parte della corrente, perocchè la deviazione deriva e dalla forza della corrente e dalla intensità del magnetismo dell'ago.

Esposti così i principj fondamentali del galvanometro, diciamo esattamente come questo apparecchio è costruito. Esso è composto di un telajo verticale di ottone *D* (*Tav.* IV, *Fig.* 107), intorno al quale si avvolge un filo di rame coperto di seta in tutta la sua lunghezza per isolare i circuiti l'uno dall'altro. Al di sopra di questo telajo trovasi un quadrante orizzontale graduato, il cui zero corrisponde al diametro parallelo alla direzione del filo di rame sul telajo: in questo quadrante trovansi due graduazioni l'una alla destra l'altra alla sinistra dello zero, le quali si estendono soltanto fino a 90°. Per mezzo di un sostegno e di un filo di seta semplice è sospeso il sistema astatico, formato di due aghi da cucire *a b* ed *A*, posti l'uno al di sopra del quadrante, l'altro entro il circuito. Le aste ricurve *H* e *K* che comunicano al di sotto dell'apparecchio coi due estremi del circuito, sono destinate a ricevere i conduttori, i quali trasmettono la corrente che si vuole osservare.

Le viti di livello *C* servono a disporre l'apparecchio in posizione esattamente verticale, in modo che il filo di sospensione corrisponda precisamente al centro del circolo graduato. Finalmente un bottone *E* serve a trasmettere il movimento al telajo *D* ed al quadrante, che sono mobili intorno ad un asse verticale, in modo da disporne i fili del circuito nella direzione del meridiano magnetico senza spostare l'apparato. Per l'osservazione delle correnti idroelettriche il filo di rame deve essere di circa $\frac{1}{8}$ di millimetro di diametro e deve fare da 400 a 600 giri. Per le correnti termoelettriche il filo dev'essere assai più grosso e deve fare un piccol numero di giri.

Il galvanometro, quale è stato da noi descritto, è un apparato sensibilissimo che serve a costatare la presenza delle correnti e a indicarne la direzione, ma non ne fa conoscere la intensità. Due circostanze si oppongono a ciò che al di là di un certo limite le intensità delle correnti non sieno proporzionali agli angoli di deviazione. L'una si è che la forza magnetica del globo, la quale nell'agire per ricondurre il sistema degli aghi nel meridiano magnetico, fa equilibrio alla forza della corrente che ne l'allontana, non è già proporzionale agli angoli di deviazione, ma ai loro seni, per cui per delle deviazioni maggiori di 20°, la differenza dell'arco e del suo seno, fin allora poco sensibile, diventa apprezzabile, per cui non si può più prendere l'uno per l'altro. La seconda circostanza si è che non appena gli aghi si allontanano dal meridiano magnetico in cui stanno, mentre sono in riposo, parallelamente ai lati maggiori dei rettangoli del filo galvanometrico, la loro posizione rapporto a questi fili non è più la stessa, e quindi le correnti non debbono più agire su di essi nella stessa maniera. È facile vedere che se nella posizione normale, quella cioè in cui i fili sono paralleli agli aghi, la forza ha tutta la sua intensità, essa dal momento che v'ha deviazione dal meridiano non agisce più che per una componente tanto più piccola quanto più grande è l'angolo di deviazione. Perciò affinchè un galvanometro possa servire a indicare la intensità delle correnti fa d'uopo costruire delle tavole in cui sieno indicate le intensità corrispondenti alle diverse deviazioni dell'ago.

Il metodo più semplice per formare queste tavole è quello del *moltiplicatore a due fili*. Si avvolgono simultaneamente sul telajo dell'apparato due fili di rame coperti egualmente di seta e identici in lunghezza e in diametro; poi scegliendo una sorgente costante di elettricità dinamica, ma assai debole, si fa passare la corrente in uno dei fili, e così ottiensi una certa deviazione, per esempio di 5 gradi. In seguito, per mezzo di una sorgente identica alla prima, si fa passare nello stesso tempo in ciascun filo una corrente di eguale intensità, e si ottiene allora una certa deviazione, per esempio di 10 gradi, la quale è dovuta all'azione simultanea delle due correnti, ossia ad una corrente d'intensità doppia della prima. Facendo indi passare in uno dei due fili la corrente capace di produrre da sola la deviazione di 10° e nell'altro una delle correnti che ha prodotto la deviazione di 5°, ossia in complesso una corrente tripla della prima, si ottiene una deviazione di 15°. Infine facendo passare simultaneamente in ciascuno dei due fili una corrente capace di dare la deviazione di 10°, se ne ottiene una di 20°. Adunque sino a 20° le deviazioni sono proporzionali alle intensità della corrente. Oltre questo limite esse crescono in un rapporto minore; ma col medesimo processo si continua a determinare di mano in mano le deviazioni corrispondenti ad intensità conosciute. Qualche volta nel galvanometro sopra uno stesso telajo si applicano due fili in guisa che formino due matasse distinte. Allora si possono nello stesso tempo far passare due correnti per opposte direzioni onde conoscere la loro differenza, ed il galvanometro in questo caso prende il nome di *differenziale*.

Vi sono degl'istrumenti mercè i quali si può direttamente misurare le intensità delle correnti, senza ricorrere all'uso delle tavole descritte pel galvanometro. Sono questi la *bussola dei seni* e la *bussola delle tangenti*. La *bussola dei seni*, la cui invenzione devesi a Pouillet differisce dal galvanometro descritto, per ciò che il filo di rame pel quale passa la corrente, fa soltanto pochissimi giri, e qualche volta anche un solo intorno all'ago calamitato; inoltre il telajo sul quale si avvolge il filo consiste in un cerchio di legno verticale appositamente scanalato nella periferia, e mobile intorno ad un asse

pure verticale, su di un cerchio orizzontale fisso, che serve a indicare lo spostamento impresso al telajo. L'ago calamitato trovasi sospeso entro una piccola scatola nel centro del cerchio verticale (*Tav.* IV, *Fig.* 108). Ciò posto, dopo che il circuito galvanometrico è stato diretto nel meridiano magnetico, vale a dire nello stesso piano dell'ago, si fa passare la corrente. Quando l'ago è deviato, si fa rotare il circuito fino al punto di farlo coincidere col piano verticale che passa per l'ago stesso. In questo caso, avendo l'ago conservato anche dopo la deviazione, la stessa posizione rispetto ai fili del moltiplicatore, e in conseguenza rispetto alla corrente che agisce su di esso, l'ampiezza della sua deviazione sarà proporzionale alla intensità della corrente. Le forze tra le quali si stabilisce l'equilibrio, e che per conseguenza sono eguali, sono da un lato quella della corrente, dall'altra la forza direttrice della terra che tende a ricondurre l'ago al meridiano, da cui la prima lo allontana. Ora essendo questa proporzionale al seno dell'angolo di deviazione, ne succede che l'altra, vale a dire, l'intensità della corrente lo è pure. L'angolo di deviazione si misura sul cerchio orizzontale dell'apparato. La *bussola delle tangenti* è formata da un gran cerchio di lamina di rame che si ripiega nella parte inferiore in due appendici che si fanno comunicare coi poli della pila mercè due pozzetti pieni di mercurio (*Tav.* IV, *Fig.* 109). Questo cerchio va collocato nel meridiano magnetico, e nel suo centro trovasi bilicato sopra una punta, o sospeso ad un filo di bozzolo un ago di declinazione, che dev'essere molto corto rispetto al diametro del cerchio, ed affinchè i gradi di deviamento possano essere molto più grandi, l'ago porta in croce un indice leggiero assai più lungo. Ciò posto, si dimostra col calcolo, che le intensità delle correnti sono proporzionali alle tangenti degli archi di deviazione da esse generati. Questa proporzionalità è tanto più esatta quanto più grande è il raggio del cerchio rispetto alla lunghezza dell'ago.

Azione reciproca tra le calamite e i selenoidi. L'azione delle calamite sulle correnti può rendersi molto più manifesta piegando il filo conduttore ad elica, vale a dire impiegando un *cilindro elettrodinamico.* Già abbiamo dato la teoria di questo

apparato (Vedi pag. 157), e abbiamo detto che esso altro non è che un sistema di conduttori circolari paralleli, percorsi tutti nello stesso verso dalla corrente elettrica, il qual sistema ricevè da Ampère il nome di *selenoide* (*Tav.* III, *Fig.* 86). Si sospende per le sue estremità all'apparato di Ampère (*Tav.* III, *Fig.* 100), appoggiandolo sui piccoli recipienti che terminano le aste sporgenti dalle due colonne del medesimo. Se mentre è percorso dalla corrente gli si avvicina o sopra o sotto una forte sbarra calamitata tenuta orizzontale, si vede che il medesimo si dispone col suo asse parallelamente a questa. Ciò non può avvenire altrimenti. Difatti sappiamo che le correnti circolari si dispongono perpendicolarmente alle calamite; quindi l'asse comune di un sistema di correnti circolari deve necessariamente essere parallelo alle calamite medesime. Perciò le estremità del selenoide vengono a rivolgersi verso i poli della sbarra calamitata; ma se s'inverte la corrente s'invertono anche le estremità che guardano questi poli, vale a dire che il cilindro fa una semirivoluzione per disporsi in direzione contraria alla primitiva, ma sempre parallelamente alla calamita. Se poi si accosta uno dei poli della medesima sbarra calamitata ad una delle estremità del cilindro, si vede che questo è attratto, se l'estremità del selenoide a cui si è appressata la sbarra è quella che dianzi guardava il polo che ora si avvicina, mentre all'opposto è respinto se è l'estremità opposta. Da ciò scorgesi che i selenoidi agiscono rispetto alle calamite, come se fossero essi stessi calamite; laonde chiamansi poli le loro estremità; e si è detto polo nord del cilindro quello che è attratto dal polo sud della calamita e viceversa.

Se si tiene in mano un cilindro elettrodinamico percorso dalla corrente elettrica, e si accosta ad un ago magnetico mobile, si vedono i suoi poli attratti o respinti a seconda delle estremità del cilindro che gli si appressano.

Azione direttrice della terra sulle correnti. Dopo quanto abbiamo detto intorno all'azione magnetica della terra sarà facile intendere come essa debba agire sulle correnti. Ampère fu il primo che dimostrò quest'azione coll'esperienza servendosi di un conduttore circolare o rettangolare simile a quello

della *Fig.* 110, *Tav.* IV. Si dispone da prima questo conduttore nel piano del meridiano magnetico, e quindi si fa passare attraverso di esso una corrente che si dirige nel modo che nella figura viene indicato dalle frecce. Tosto il conduttore comincia a deviare, oscilla, ed infine si ferma in un piano perpendicolare al meridiano magnetico. Si osserva inoltre che la corrente è diretta dall'est all'ovest nella parte inferiore del circuito, ossia che un'osservatore disteso sulla corrente e rivolto verso il suolo avrebbe alla sua sinistra il polo australe della terra. Invertendo la direzione della corrente, il circuito mobile compie una mezza rotazione e si ferma parimente in un piano perpendicolare al meridiano magnetico; in modo da aver sempre la corrente diretta da est ad ovest nella sua parte inferiore. Lo stesso fatto mostrasi con maggior semplicità per mezzo del così detto *anello galleggiante* di *De la Rive* consistente in due leggiere lamine, l'una di zinco e l'altra di rame, fissate a un disco di sughero e congiunte con un filo di rame a forma di cerchio, che si solleva verticalmente dall'altra parte del disco (*Tav.* III, *Fig.* 106). Si fa galleggiare questo semplicissimo apparato entro un vaso contenente dell'acqua acidulata, in modo che le due lamine vi restino immerse. In questa coppia si produrrà la corrente, la quale andrà dal rame al zinco attraverso il cerchio metallico. Abbandonato a sè stesso quest'apparato si fissa dopo breve tempo in modo che il piano del cerchio verticale si trovi perpendicolare a quello del meridiano magnetico, e colla corrente diretta nel solito verso. Onde accrescere gli effetti di questo conduttore si possono raddoppiare i fili, come si fa nel circuito del galvanometro.

A motivo di quest'azione direttrice della terra sulle correnti è necessario nella maggior parte delle esperienze sulle correnti, sottrarle a quest'azione. Perciò si dà al circuito mobile una forma simmetrica rispetto al suo asse di rotazione, in modo che le azioni direttrici della terra sulle due parti del circuito tendano a farle girare per versi contrarj e quindi si distruggano. A questa condizione soddisfa il circuito rappresentato nella Figura 111 Tav. IV. Alle correnti che lo percorrono si dà perciò il nome di *correnti astatiche*. L'azione della

terra sulle correnti può rendersi molto maggiore impiegando un *cilindro elettrodinamico* simile a quello della Figura 86 Tav. III, sospeso per le sue estremità all'apparato di Ampère (*Tav.* III, *Fig.* 100). Prima di far passare la corrente, si dispone il cilindro fuori del meridiano magnetico; e non appena si fa traversare da una corrente assai energica, si vede muoversi e quindi fermarsi in una direzione tale che il suo asse è parallelo alla direzione dell'ago di declinazione, ed in modo che nelle parti inferiori delle correnti circolari componenti il selenoide la corrente sia diretta dall'est all'ovest. Invertendo la direzione della corrente nel cilindro, il medesimo fa una semirivoluzione e si dispone di nuovo col suo asse nel piano del meridiano magnetico, ma in modo che la sua estremità che prima era volta al nord ora guardi il sud. Da ciò apparisce con evidenza che l'azione direttrice della terra sui selenoidi è una conseguenza di quella che essa esercita sulle correnti circolari.

Vedesi anche chiaramente che un selenoide si comporta rispetto alla terra alla maniera di un ago calamitato. Perciò alcuni fisici chiamano poli le estremità del cilindro elettrodinamico, e danno il nome di *polo australe* a quella estremità che guarda il polo nord della terra, e quello di *polo boreale* all'altra che si volge al sud. Se il cilindro elettrodinamico fosse mobile in un piano verticale e intorno ad un asse perpendicolare al meridiano magnetico lo vedremmo disporsi parallelamente all'ago d'inclinazione.

Teoria di Ampère sul magnetismo. Dalla mirabile analogia che esiste tra i fenomeni elettrodinamici ed i magnetici, Ampère seppe dedurre un'ingegnosa teoria del magnetismo, nella quale i fenomeni di questo agente si comprendono nella serie degli elettrodinamici.

La teoria di Ampère è fondata sopra i due seguenti principj:

1.° Ogni molecola di una calamita viene considerata come circondata da una corrente elettrica che incessantemente si muove sia all'interno sia all'esterno della molecola, formando così un circuito chiuso, rientrante in sè stesso e di forma circolare. Considerando tante linee di molecole parallele all'asse della calamita, si hanno tanti selenoidi elementari; ed è chia-

ro che tutti i circuiti molecolari contenuti in una stessa sezione perpendicolare all' asse possono essere rappresentati da un solo circuito *resultante*, e che in ultima analisi l' intiera calamita può riguardarsi come un insieme di correnti circolari tutte dirette nello stesso verso e contenute in piani paralleli fra loro, perpendicolari all'asse della calamita, e aventi sopra quest'asse i loro centri. Vedesi adunque facilmente che nell'ipotesi di Ampère, una calamita può essere rappresentata da un cilindro elettrodinamico percorso dalla corrente.

2.° La terra si considera circondata da tante correnti parallele all'equatore magnetico, e dirette dall'est all'ovest. Anche rispetto alla terra possono supporsi le sue molecole circondate da tante correnti circolari chiuse, tutte parallele all'equatore magnetico; ma in ogni luogo si potrà sempre concepire che l' insieme delle azioni di tutte queste correnti si riduca all'azione di una sola corrente ipotetica, alla quale si dovrà in conseguenza attribuire un' intensità ed una posizione convenienti per rappresentare tutti gli effetti del magnetismo terrestre in quel punto. La posizione di questa corrente resultante trovasi in ogni luogo in un piano perpendicolare all'ago d' inclinazione: all'equatore magnetico essa trovasi in un piano verticale.

Ammessi questi due principj, la teoria di Ampère ci spiega nel modo il più soddisfacente tutti i fenomeni che abbiamo studiato intorno all'azione delle calamite e della terra sulle correnti. I fenomeni di attrazione e di repulsione osservati fra le calamite e le correnti rettilinee, fra le calamite e i selenoidi, fra le calamite e le calamite, tra la terra e le calamite, e tra la terra e le correnti dipendono tutti da quel principio fondamentale, *che le correnti dirette nello stesso verso si attraggono, e quelle dirette per versi contrarj si respingono* (V. pag. 152). Quando osserviamo attrazione tra i poli di due calamite o di due selenoidi o di una calamita e di un selenoide, ciò significa che in quella data posizione, le correnti circolano nello stesso verso; mentre se ha luogo la repulsione, le correnti circolano per contrarie direzioni.

Un ago magnetico si dispone perpendicolare ad una corrente rettilinea, perchè le correnti circolari che lo percorrono

tendono a disporsi colla loro parte più prossima nella stessa direzione della corrente medesima.

Il cilindro elettrodinamico, l'apparecchio galleggiante di De la Rive, il conduttore mobile circolare, tutti si dispongono in modo che nella loro parte inferiore più prossima alla terra le correnti vadano dall'est all'ovest, cioè parallelamente e nello stesso verso della corrente della terra. Parimente, la direzione di una calamita rispetto alla terra, è tale che nella sua parte inferiore le correnti che la percorrono sono parellele ed hanno lo stesso verso di quelle del globo terrestre, vale a dire sono dirette dall'est all'ovest. Perciò il polo di una calamita che guarda il polo nord della terra, è quello per cui il lato ascendente della corrente si trova alla destra di un osservatore rivolta colla faccia verso il polo stesso della calamita. Leopoldo Nobili, fino dal 1822, immaginò un semplice e bello apparecchio, destinato a mostrare come agisca per via di correnti il magnetismo terrestre. Consiste in un globo di legno rivestito all'intorno di un filo di rame coperto di seta, che fa i suoi giri nella direzione dei paralleli terrestri. Quando si pongono i capi di questo filo in comunicazione coi poli di una pila, si vede il globo agire sopra un piccolo ago calamitato e su dei piccoli cilindri elettrodinamici, e dirigerli nel modo stesso, e colle medesime leggi che abbiamo scoperte per l'azione magnetica della terra. In quanto all'origine delle correnti terrestri, varie sono le opinioni; ma la maggior parte dei fisici le considerano di natura termoelettrica, vale a dire prodotte dall'azione del calor solare sopra gli strati eterogenei che costituiscono la corteccia del globo.

Magnetismo dei corpi percorsi dalla corrente elettrica. Un fatto che serve di stabile appoggio alla teoria di Ampère, si è quello del magnetismo che la corrente elettrica è capace di produrre. Arago fu il primo ad osservare che un filo metallico, come per esempio di rame o di platino, quando è percorso dalla corrente elettrica, diviene capace di attrarre la limatura di ferro, e perde questa proprietà nell'istante in cui cessa il suo passaggio. Questo fatto può rendersi più evidente, rendendo più energica l'azione della corrente col di-

sporne il filo conduttore a spirale piana. Vedesi allora che la limatura vi si attacca a pennacchi come fa attorno ai poli di una calamita.

Allorquando si dispone un cilidro di ferro dolce perpendicolarmente al filo percorso dalla corrente, esso si magnetizza nell' istante ed acquista il polo nord all'estremità ch' è posta a sinistra della corrente. L'azione adunque che ha la corrente di magnetizzare dovrà esercitarsi colla maggiore intensità allorquando si circondino i cilindri di ferro o di acciajo, con tante correnti circolari, parallele tra loro, e perpendicolari all'asse dei cilindri. Ciò si otterrà facilmente costruendo un cilindro elettrodinamico analogo a quelli di cui abbiamo dato la teoria, e introducendo nel suo interno il cilindro o l'ago di ferró o di acciajo che vuolsi magnetizzare. Dobbiamo per altro osservare che l'impiego delle correnti elettriche, ottimo per magnetizzare il ferro dolce, che possiede una debole forza coercitiva, è insufficiente ad imprimere un magnetismo potente a degli aghi di acciajo, specialmente se fortemente temperati, essendo difficile distruggere completamente la grande loro forza coercitiva.

Nell'uso dei cilindri elettrodinamici o eliche è necessario stabilire una importante distinzióne. Allorquando nella parte superiore del cilindro il filo si avvolge da sinistra a destra, si ha un'*elica destrorso* (*Tav.* IV, *Fig.* 112), mentre se nella medesima parte del cilindro si avvolge da destra a sinistra si ha un'*elica sinistrorso* (*Tav.* IV, *Fig.* 113). Nella prima elica il polo sud della barra che si magnetizza, formasi sempre all'estremità per cui entra la corrente; nell'altra formasi all'estremo opposto.

Nella teoria di Ampère spiegasi il fatto della magnetizzazione, ammettendo che nei corpi magnetici non calamitati le correnti vi esistano, ma dirette indistintamente in tutti i possibili versi, di modo che l'insieme delle loro azioni sia nullo. L'azione di una corrente obbliga le correnti molecolari, supposte esistenti nei corpi magnetici a disporsi in un ordine tale, che nel corpo magnético che si calamita divengano parallele tra loro e dirette nello stesso verso della corrente magnetizzante. Nel ferro dolce queste correnti ritornano nello

stato di primitiva confusione allorchè cessa la corrente, e perciò allora non si mostra più magnetizzato; nell'acciajo invece una volta disposte le correnti in tanti selenoidi, conservano questa disposizione anche cessata l'azione che l'ha prodotta.

Sulla proprietà che ha il ferro dolce di magnetizzarsi *temporariamente* sotto l'influenza di una corrente elettrica, è fondata la costruzione delle *calamite temporarie*, dette anche *elettro-magneti* o *elettro-calamite*, l'importanza delle quali è oggidì divenuta grandissima. Le sbarre di ferro dolce destinate a costituire queste specie di calamite, si fanno ordinariamente cilindriche, e si dispongono a ferro di cavallo, come mostra la Figura 114, Tav. IV; e su ciascuno de' loro rami si avvolge con un gran numero di giri il filo di rame coperto di seta, che è destinato al passaggio della corrente. Più spesso questo filo non è avvolto direttamente su i due rami del cilindro; ma lo è invece su due rocchetti *A* e *B* di legno o di avorio che circondano i due rami dell'elettro-magnete. Il filo deve avvolgersi nello stesso verso sui due rocchetti, affinchè le due estremità della sbarra siano poli di nome contrario. Se il ferro che costituisce l'elettromagnete non è perfettamente puro, conserva anche dopo il passaggio della corrente qualche traccia di magnetismo.

Le elettrocalamite sono estremamente potenti. Applicando a queste calamite un'ancora di ferro dolce, si può far loro sostenere anche mediante una o due coppie di Bunsen, dei pesi di più di mille chilogrammi. Mentre sono calamitate possono servire a magnetizzare delle grosse verghe di acciajo per avere potenti calamite artificiali. Egli è mediante queste calamite che sono state eseguite tutte le esperienze relative al diamagnetismo dei corpi e delle quali abbiamo già fatto parola.

Sono state eseguite molte esperienze per determinare le condizioni le più favorevoli allo svolgimento di un forte magnetismo nelle calamite temporarie. I resultati che sembrano meglio provati sono i seguenti. Un cilindro vuoto di ferro dolce, comunque sottile sia la sua parete, prende sotto l'influenza della corrente di un'elica la stessa forza magnetica

di un cilindro simile, ma pieno, il che deve considerarsi come una prova che il magnetismo che si produce nelle elettrocalamite va tutto a risiedere alla loro superficie, e che la loro massa non esercita quasi alcuna influenza su di esso. Questo resultato devesi alle esperienze di Haldat. Ad eguaglianza d'intensità nella corrente sembra che la potenza magnetica delle calamite temporanee sia proporzionale al loro diametro. Il Prof. Cecchi delle Scuole Pie di Firenze, ha trovato assai vantaggio a dare un diametro assai più grande alle estremità della sbarra, che corrispondono ai poli.

Vi sono state tra i fisici molte controversie a fine di stabilire se la lunghezza dei rami delle elettro-calamite, aveva influenza sul loro potere. Lenz ed Iacobi sostengono che ad eguaglianza di condizioni la loro lunghezza non ha veruna influenza, mentre altri pretendono che la potenza elettro-magnetica aumenti con la lunghezza delle sbarre. Nicklès ha costatato che la proposizione di Iacobi e Lenz è vera soltanto per le calamite temporarie a ferro di cavallo, i rami delle quali sono fornite di due eliche disposte in direzione opposta. Se invece le due eliche hanno lo stesso verso o se il ferro di cavallo ha una sola elica, allora allungando le sbarre si aumenta il potere dell'elettro-magnete, e ciò forse perchè coll'allungare la sbarra calamitata si allontanano i poli di nome contrario, e si diminuiscono gli effetti di neutralizzazione che questi poli possono esercitare tra loro. Questa influenza dell'allungamento della sbarra sulla sua forza magnetica, ha per altro un limite, oltre il quale l'attrazione diminuisce a misura che aumenta la lunghezza. In quanto all' influenza della intensità della corrente e della lunghezza del filo conduttore, vale a dire del numero dei suoi giri, Iacobi e Lenz credono di poter dedurre dalle loro esperienze:

1.° Che la potenza attrattiva delle calamite temporarie è proporzionale ai quadrati delle intensità delle correnti; cosicchè una corrente quadrupla dà una forza doppia.

2.° Che il diametro e la lunghezza del filo conduttore debbono cangiare a seconda della natura della pila che si adopra; vale a dire che se la pila è di pochi elementi a larga superficie, il filo dev'esser grosso e di poca lunghezza; men-

tre se la pila abbia una grande tensione il filo dev'esser lungo e sottile. Secondo i rammentati fisici il massimo di forza si avrebbe quando la resistenza del filo è eguale a quella della pila.

Applicazioni dell' elettromagnetismo.

Motori elettromagnetici. I fisici poco dopo la scoperta degli elettromagneti, vedendo la forza di queste calamite rinascente a loro piacere, pronta a sparire colla interruzione del circuito e capace di trasformarsi, a nostro talento, di attrazione in ripulsione, pensarono ad applicarla come forza motrice, ed inventarono diverse macchine o motori elettromagnetici, mediante i quali si tentò di sostituire la forza della elettricità a quella del vapore. Iacobi, Botto, Dal Negro sono i fisici che hanno realizzato pei primi, su modelli abbastanza grandi, il pensiero di questa applicazione. Iacobi riuscì a far navigare sulla Neva una nave carica di dodici persone, mercè l'uso di questa forza. Moltissimi sono i modelli di macchine elettromotrici che potrebbero descriversi, ma ne descriveremo soltanto due dei più semplici, a fine di render noto il principio comune al maggior numero di coteste macchine. *A* e *B* (*Tav.* IV, *Fig.* 115) sono due cilindri di ferro dolce coperti di filo di rame vestito di seta ed avvolto a replicati giri. Sono dessi congiunti nelle parti superiori da una verga di ferro dolce, in guisa da formare una vera calamita temporaria, la quale è fissata su due zoccoli di legno. Nell'interno di questa ve ne ha un'altra simile *a b*, mobile attorno di un asse che passa nel mezzo de' suoi rami. I capi del filo della prima di queste calamite comunicano coi bottoni metallici *x z*, e quelli della seconda con due lastre metalliche *n n'* del pezzo *C*, destinato ad invertire periodicamente la direzione della corrente nell'elettromagnete mobile, e che perciò dicesi commutatore, e che è rappresentato più in grande nella Figura 116. Consiste questo in un disco di avorio coperto da due archi metallici *n* ed *n'*, tra i quali restano due intervalli di avorio. Sull'orlo del disco premono due molle di ottone *m* ed *m'*, le quali comunicano re-

spettivamente coi bottoni *y* e *z*. Se dunque il polo positivo di una pila di tre o quattro coppie alla Bunsen comunichi col bottone *x* ed il negativo coll'altro *y*, la corrente dopo di aver girato pel filo dell'elettromagnete *A B*, giunta al bottone *z*, andrà per la molla al pezzo corrispondente del commutatore, quindi entrerà in uno dei capi del filo dell'elettromagnete *a b*, ed uscendo per l'altro giungerà, passando pel commutatore, al bottone *y*, mercè la molla corrispondente, e quindi all'altro polo della pila. Ne segue che la calamita temporaria *a b* dovrà rotare in mezzo all'altra *A B* fino a che i poli di nome contrario non sieno venuti di contro; ma in questo punto, avendo il commutatore ruotato esso pure, le molle toccano i due intervalli di avorio del medesimo, e quindi l'azione cessa per l'interrotto passaggio della corrente. Ma il movimento della calamita temporaria *a b* non può cessare a motivo dell'acquistata velocità; perciò le molle, oltrepassati i due intervalli di avorio, toccano di nuovo i pezzi metallici, ma *m* che toccava *n'* toccherà *n*, ed *m'* toccherà *n'*, onde la corrente passando pei fili dell'elettromagnete *a b*, per opposta direzione, ne invertirà i poli; e così il polo che prima era attratto verrà ora respinto, e viceversa sarà attratto quello che prima era respinto; talchè così proseguendo si avrà una continua rotazione. Questo moto di rotazione orizzontale può trasformarsi in moto di rotazione verticale, mediante due ruote dentate ed una fune perpetua la quale faccia ruotare un asse a gomito *s* con un volano *v*. Unendo a questo asse l'asta *k* di una tromba, si giunge ad imprimere a questa un moto alternativo capace di metterla in azione.

Nell'elettromotore di Froment, il conflitto ha luogo tra elettromagneti e pezzi di ferro dolce opportunamente collocati. La *Fig.* 117, *Tav.* IV rappresenta la macchina di Froment. La corrente entra in *G*, ascende per una lamina metallica ed elastica *a* che tocca successivamente ad intermittenza tutti i denti di una ruota metallica *m*, come si vede in *H* a destra della figura: dalla ruota *m* la corrente passa in due rocchetti *A* e *B* avvolti attorno a due cilindri di ferro dolce che formano le elettromagneti, indi esce per *I* e torna alla pila. Tra le due elettromagneti trovasi un asse orizzontale termi-

nato alle sue estremità da due verricelli di ferro dolce C C, formati di otto braccia che sono successivamente attratte dalle due calamite temporarie. Per mezzo del commutatore m, si interrompe la corrente nel momento in cui due braccia opposte dei verricelli giungono in presenza delle elettro-calamite, ed allora il movimento continua perchè i verricelli fanno l'ufficio di volani, fino a che tornando a passare la corrente vengono attratte le braccia susseguenti, e così di continuo. Anche quì si può trasmettere il moto alle aste di trombe, o di altre macchine. Basta fissare all'asse dei verricelli una manovella, che per mezzo della biella D trasmetta il moto ad un bilanciere ec.

Fino ad oggi i motori elettromagnetici sono poco adoprati nella industria. Varie considerazioni fanno dubitare che la forza elettromagnetica non possa vantaggiosamente rimpiazzare quella del vapore. In primo luogo la spesa necessaria a ciò che una macchina a vapore produca un determinato effetto è considerabilmente minore di quella che fa d'uopo impiegare in una macchina elettromagnetica a fine di ottenere lo stesso resultato; e ciò a motivo del costo assai minore del carbone bruciato nella prima, rispetto allo zinco ed agli acidi consumati nella seconda. Inoltre è da osservarsi che mentre nelle macchine a vapore si può dare una grande estensione all'aumento di velocità del loro movimento rotatorio, nei motori elettromagnetici invece non si può mai superare un certo limite di velocità, anche impiegando poderose correnti, e ciò a motivo del tempo apprezzabile che si richiede acciò il ferro dolce acquisti il massimo del magnetismo che può essergli comunicato da una data corrente, e perchè lo perda dopo l'interruzione del circuito.

L'uso dell'elettromagnetismo come motore riesce però utile nel caso di un lavoro discontinuo che non esiga forze e velocità troppo grandi. Il cavalier Bonelli di Torino lo ha applicato con un grande successo ai telaj alla Jacquart. In Francia si è ultimamente proposto di applicarlo ad aumentare l'attrito delle ruote motrici colle rotaje, in quelle circostanze in cui ciò può riuscire di vantaggio alla locomozione. Ognun sa che la condizione necessaria a ciò che la locomotiva metta in movimento

il treno è l'aderenza delle sue ruote motrici sulle rotaje; senza di che, come avviene talora, le ruote girerebbero intorno al proprio asse e il convoglio non si muoverebbe. Laonde avviene sulle strade ferrate di una certa inclinazione che diminuendo l'aderenza, diminuisce pure la forza motrice della macchina; e poichè l'aderenza non può essere accresciuta che coll'aumento del peso della locomotiva, ne viene d'altra parte un aumento nella resistenza che non può infine esser vinto se non da un maggior dispendio di vapore. Ora trasformando le ruote in elettrocalamite, i cui poli sieno sempre in contatto delle rotaje, si giunge ad aumentare l'attrito senza bisogno di accrescere il peso della locomotiva. Un commutatore convenientemente disposto ha l'ufficio di comunicare il magnetismo temporario soltanto a quella porzione della ruota che è in contatto colla rotaja e pel solo tempo del contatto.

Telegrafi elettrici. L'idea di applicare l'elettricità e i suoi effetti alla trasmissione dei segnali telegrafici non è tanto recente. Nell'ultima metà del passato secolo, Lesage, Lamond, Cavallo, Betancourt ed altri immaginarono di adoperare la scarica elettrica della bottiglia di Leida o della comune macchina elettrica, onde per mezzo di fili metallici isolati propagare da un punto all'altro i movimenti prodotti dalla scarica stessa. Sommering propose d'impiegare per segnali gli effetti di decomposizione della corrente elettrica sull'acqua. Tutti questi saggi però, prima della grande scoperta di Oersted, furono e dovevano essere di nessun pratico valore. La telegrafia elettrica ebbe nascimento insieme all'elettromagnetismo. Dopo la scoperta di Oersted la storia della telegrafia elettrica si compone di numerosi tentativi fatti da varj fisici, onde più convenientemente applicare l'elettromagnetismo alla trasmissione dei segnali; ma a vero dire Wheatstone e Cooke in Inghilterra, e Morse in America furono i primi che diedero un'utilità pratica alla telegrafia elettrica, e perciò debbono essere considerati come i veri inventori di quest'arte mirabilissima.

Si riducono a tre i sistemi, o le disposizioni delle macchine telegrafiche che oggi si adoprano. Il principio scientifico generale di queste varie disposizioni delle macchine

telegrafiche è la proprietà della corrente elettrica di deviare l'ago calamitato e di convertire in calamita, nel tempo del suo passaggio, un cilindro di ferro dolce circondato da una spirale metallica. Diciamo pertanto come in virtù di questo principio si riesca a trasmettere per mezzo della corrente un dato movimento a centinaja e migliaja di leghe di distanza; ed anche a masse relativamente considerevoli. Si abbia in *u* una pila di Bunsen ed in *b* un'elettrocalamita (*Tav.* V, *Fig.* 118). Uno dei capi del filo di questa comunichi col filo *p* della pila; l'altro capo possa successivamente unirsi e distaccarsi dalla pila. Ne seguirà che l'elettrocalamita acquisterà successivamente la sua potenza e successivamente la perderà. Ciò potrà farsi 2, 3, 10 volte in un secondo, se in un secondo si potranno stabilire 2, 3, 10 contatti colla pila. In presenza dell'elettrocalamita si trovi un pezzo di ferro dolce, che faccia corpo con una leva di legno *d l* mobile essa pure intorno all'asse *d*. Una piccola molla *r* la tiri contro l'ostacolo *s*, o le permetta di andare fino all'ostacolo *s'*, secondo che v' ha intermittenza o passaggio di corrente. Nel suo maggiore allontanamento il ferro *e* si trovi per esempio ad un millimetro dai poli dell'elettrocalamita, e nel suo maggior ravvicinamento in *s'*, non giunga a perfetto contatto di essi onde non vi contragga una certa aderenza che potrebbe nuocere alla rapidità dei movimenti della leva. Nel passaggio della corrente, la leva anderà innanzi e percuoterà in *s'*; mentre quando la corrente s'interromperà anderà a battere in *s* per l'azione della molla; e così verrà a prodursi un movimento oscillatorio, che potrà ripetersi tante volte quante la corrente s'interrompe e si ristabilisce. Le dimensioni della leva potranno variare al cangiare della forza elettromotrice o delle dimensioni della elettrocalamita. In quanto alla rapidità del movimento oscillatorio, essa dipende in parte dalle masse che sono in giuoco, ma specialmente dalla massa e qualità del ferro dolce, e dalla robustezza della molla. Difatti se il ferro della elettrocalamita ha una certa forza coercitiva, non è difficile di vederlo agire anche dopo il distacco, e allora la forza della molla diviene insufficiente. Il caso contrario avverrebbe se la molla fosse troppo forte rispetto all'azione elettromagnetica. Tenendo conto di queste circostanze, si giunge a fare degli

apparecchi in cui il movimento oscillatorio della leva si ripete 5, 10 ed anche 20 volte per ogni secondo. Onde il movimento della leva sia regolare come quello di un pendolo farà d'uopo che l'apparecchio sia disposto in maniera che le comunicazioni della pila siano stabilite e rotte con una grande regolarità, ed uno dei mezzi più sicuri per giungere a questo resultato si è quello d'impiegare una ruota simile a quella della *Figura* 119, *Tav.* IV. Consiste in una ruota dentata metallica, i cui denti metallici sono separati da degl' intervalli di legno. I fili dell'elettrocalamita pongonsi in comunicazione coll'asse metallico della ruota, mentre collo stesso asse comunica un filo solo della pila; l'altro essendo posto per mezzo di una linguetta metallica al di sopra della periferia della ruota. Se la ruota avrà venti denti metallici e farà un giro per secondo, si stabiliranno 20 comunicazioni in questo breve spazio di tempo.

Ecco adunque indicato il modo di ottenere colla corrente un movimento energico, rapido e regolare. Quanto alla rapidità con cui da un dato luogo potrà questo movimento prodursi in distanza, non possiamo fare altro che ripetere ciò che dicemmo intorno alla velocità di propagazione della corrente. Questa è differente a norma della natura del metallo che le serve di conduttore; ma anche nella ipotesi della minima velocità, la periferia della terra, che è di 40 mila chilometri, sarebbe sempre percorsa in meno di mezzo minuto secondo. Perciò per le distanze massime, cui possono estendersi le nostre comunicazioni, queste resultano istantanee, e quindi anche la trasmissione de'movimenti oscillatorj di cui abbiamo sopra discorso. Esaminiamo adesso fino a qual distanza possono questi movimenti comunicarsi. Noi abbiamo già accennate le leggi colle quali l'intensità della corrente diminuisce a misura che la lunghezza del circuito aumenta. Resulta da queste leggi che un filo di rame di 3 millimetri di diametro indebolisce la corrente 900 volte meno che un filo della stessa lunghezza e dello stesso metallo di $\frac{1}{10}$ di millimetro di diametro; per conseguenza 900000 metri, o 225 leghe del primo, non l' indeboliscono meno di 1000 metri del secondo; ma l'esperienza dimostra che un circuito formato di 1000 metri di questo secondo filo produce sempre degli effetti molto ener-

gici, anche con una pila debole e con una piccola elettrocalamita; dunque un circuito di 225 leghe di un filo di 3 millimetri di diametro, darà pure degli effetti energici anche con deboli pile e con piccole elettrocalamite. Dunque se tra due città distanti fra loro 112 leghe e ½, si distendono due fili di rame di tre millimetri di diametro, i quali non si tocchino nel loro corso; che nella seconda città facciano capo alle due estremità del filo di una elettrocalamità e nella prima ai due poli d'una pila, si potrà collo stabilire e interrompere a vicenda il circuito nella seconda città, imprimere nella leva posta nella prima città il movimento oscillatorio che abbiamo sopra descritto.

Avendo così sviluppato il principio fondamentale della telegrafia elettrica, possiamo adesso entrare nei dettagli pratici d'esecuzione, facendo prima conoscere i mezzi che sono stati impiegati per istabilire il filo del circuito, ed esponendo i diversi sistemi d'apparecchi che producono la corrente, e quelli che eseguiscono i segni della corrispondenza.

Circuito telegrafico. Il filo conduttore che s'impiega nella costruzione di questo circuito è un filo di rame di circa due millimetri di diametro, ovvero uno di ferro di 3 a 4 millimetri. Si preferisce oggi generalmente il secondo perchè è assai più resistente e tenace del primo. Questo filo dev'essere perfettamente rincotto, e deve avere la maggiore lunghezza possibile onde diminuire i punti di unione o di saldatura. In principio si credeva che non si potesse avere un circuito perfetto se non mediante due fili, uno dei quali servisse per l'andata della corrente e l'altro pel suo ritorno, ma in seguito si scoprì che la terra faceva perfettamente l'ufficio di una metà del circuito, per cui un sol filo divenne sufficiente alle comunicazioni. Siano *p* ed *r* due stazioni che rappresentino per esempio Firenze e Livorno; tra le quali sia disteso, isolato dal suolo, un solo filo *a b*, la cui estremità *a* comunichi a Firenze col polo positivo della pila, ed il polo negativo s'immerga nel terreno; all'altra stazione l'elettrocalamita comunichi da un lato all'estremità *b* del filo e dall'altro col suolo. È evidente che il terreno farà le veci del secondo filo, e che la corrente dopo essersi propagata da Firenze a Livorno

pel filo, tornerà a Firenze attraverso il suolo. Per isolare il filo conduttore dal terreno si distende tra dei pali di legno solidamente piantati lungo le strade ferrate. Questi pali si fanno ordinariamente di legno di pino o di quercia, si elevano quattro a cinque metri al di sopra del suolo, e si tengono 70 a 80 metri distanti l'uno dall'altro. Su di essi sono fissate delle lastre isolatrici di porcellana o di majolica verniciata, le quali ricevono diverse forme, e su cui passa il filo. Esse sono protette dalla pioggia mediante dei piccoli tetti di zinco, perchè se si trovassero contemporaneamente bagnati il palo ed il sostegno isolatore, l' isolamento sarebbe imperfetto, si formerebbero delle correnti derivate, e sarebbero necessarie delle pile molto più forti per conservare alla corrente una sufficiente intensità. Ogni 500 metri si piantano dei pali più grossi, che diconsi *pali di trazione*, sui quali situansi delle specie di argani isolati destinati a distendere il filo e ad impedire le inflessioni troppo considerevoli che potrebbe fare tra palo e palo, se fosse troppo lente. I capi del filo si uniscono poi alle pile e alle macchine telegrafiche, e perchè il circuito sia compiuto non resta che a immergere questi capi nel suolo. A questo fine è utile che ogni capo finisca con una lastra di rame di circa mezzo metro quadro di superficie, che va ad immergersi nell'acqua di un pozzo.

Vi sono alcune linee telegrafiche, come per esempio quelle di Prussia ed alcune dell'Austria nelle quali il filo metallico invece di essere sospeso nel modo che abbiamo descritto, è invece sepolto nel terreno, dopo essere stato isolato nel modo il più conveniente ricuoprendolo di un grosso strato di guttaperca. Il filo così preparato si sotterra a circa un metro dalla superficie e si rinchiude in un tubo di legno o di materiale, o si posa semplicemente sopra uno strato di legna sottili e secche. Talvolta ai fili telegrafici si fa traversare l'acqua dei fiumi, dei canali, ed anche delle estensioni assai grandi di mare. In questo caso conviene che il filo sia isolato da un grosso strato di guttaperca. Si costruiscono oggidì pei telegrafi sottomarini dei grossissimi canapi, nell' interno dei quali racchiudonsi per maggior sicurezza varj fili telegrafici perfettamente isolati l'uno dall'altro. L'isolamento non si opera

soltanto con un involucro di guttaperca, ma si circonda questo a sua volta con un grosso strato di resina e di grasso. Tutto questo insieme è poi ricoperto da una fitta spirale di filo di ferro.

Elettromotori telegrafici. Per produrre la corrente nei circuiti telegrafici si può impiegare indifferentemente una delle pile da noi descritte, od anche un apparecchio d'induzione, proporzionando sempre la forza dell'elettromotore alla lunghezza del circuito ed alla sensibilità delle elettrocalamite che eseguiscono i segnali. Dieci o dodici elementi ordinarj di Bunsen sono bastanti pel servizio fra due stazioni distanti circa 100 chilometri.

Segnali telegrafici. I diversi apparecchi che sono stati immaginati per eseguire i segnali telegrafici si comprendono nei tre sistemi che siamo per indicare; vale a dire: il *telegrafo a quadrante*, il *telegrafo a segnali*, ed il *telegrafo scrivente.* In tutti questi sistemi le macchine telegrafiche si compongono sempre di un *manipolatore* o apparecchio per scrivere e mandare i dispacci, dell'*allarme* o sveglia, ed infine del *telegrafo* propriamente detto.

Telegrafo a quadrante. Il manipolatore di questo telegrafo consiste in un disco *C* di legno (*Tav.* V, *Fig.* 121) di cui l'orlo per la metà dell'altezza è coperto da una striscia continua di ottone, essendo l'altra metà divisa in un certo numero di parti eguali, quante sono le lettere scritte sul quadrante della macchina a segnali; queste divisioni sono interpolatamente lasciate di legno in *I*, *L'* *e c*, *e c*, e di parti metalliche in *O*, *O' e c*; e queste ultime comunicano colla striscia metallica. Sulla faccia superiore di questo disco e presso l'orlo, sono incise le lettere in tante caselle corrispondenti alle divisioni in legno e metallo che abbiamo indicate; e di contro ad ogni lettera v' ha un foro assai profondo. Questo disco *C* è mobile intorno ad un asse fissato sopra la tavola inferiore, sulla quale riposa tutta la macchina; quest'asse, che è un cilindro vuoto, contiene un secondo asse conico, che è quello del manubrio *D*, per mezzo del quale si fa ruotare il disco. A questo fine si solleva il manubrio per mezzo del suo manico articolato nell'estremità congiunta coll'asse, e s' introduce la punta con

cui termina nel foro corrispondente alla lettera che si deve scrivere; e si fa così ruotare il disco fino a che il manubrio incontri il pezzo E di arresto, destinato a ottenere in modo sicuro la pausa che distingue la lettera che si scrive. Vi sono inoltre, intorno al disco, e stabilmente fissato sulla tavola A B, tre appendici metalliche S, F, R, le quali consistono in tre molle di ottone che vengono in contatto dell'orlo e che vi stanno premute da una forte molla di acciajo. Queste molle di ottone comunicano respettivamente per mezzo di fili metallici e delle viti E, P, Z, col polo positivo della pila, col filo telegrafico della linea e colla macchina a segnali o colla soneria. Una di queste molle, che è quella in comunicazione col filo della linea, tocca la striscia metallica continua dell'orlo; le altre due molle sono applicate contro quella metà dell'orlo che è divisa in pezzi di legno e di metallo, e sono disposte in modo che mentre una tocca l'altra è in contatto di una divisione di legno. Allorchè il manipolatore è nella posizione di riposo, vale a dire col manubrio sul segno —, la molla che comunica colla macchina telegrafica tocca una divisione metallica del manipolatore, di maniera che v' ha comunicazione tra il filo della linea e la macchina telegrafica; ma intanto la terza molla, quella cioè che per mezzo di un filo comunica col polo positivo della pila, preme sull' intervallo di legno ed è quindi isolata. È facile intendere come facendo ruotare il disco del manipolatore, la comunicazione fra il filo della linea e quello della macchina a segnali venga ad essere ora tolta, ora ristabilita successivamente, e come altrettanto avvenga fra lo stesso filo della linea e il polo positivo della pila, colla differenza che quando esiste la prima comunicazione manca la seconda, e viceversa.

Si è alquanto modificato il descritto manipolatore, a fine di ottenere in un tempo più breve le interruzioni e i passaggi successivi della corrente, omettendo i due movimenti accennati; vale a dire, quello di mettere la punta del manubrio nel foro della lettera che si vuole scrivere, e quello di far ruotare il disco sino al suo incontro col pezzo di arresto. Per ottenere questo intento, i passaggi e le interruzioni si producono per mezzo di una ruota dentata, la quale è por-

tata dall'asse unito al manubrio, ed i cui denti vengono ad urtare una molla, e così a stabilire la comunicazione: il disco su cui sono incise le lettere è fisso. Con questo sistema di manipolatore viene diminuito all'incirca della metà il tempo della trasmissione dei segnali, poichè nel portarsi che fa il manubrio dal punto di riposo alla lettera da segnarsi avvengono contemporaneamente i passaggi e le interruzioni della corrente, e quindi i segnali.

Il telegrafo a quadrante o la macchina a segnali propriamente detta, consiste esternamente in una cassetta quadra di legno, che in una delle sue faccie verticali porta un'apertura circolare chiusa da un cristallo, di dietro al quale sta la mostra del telegrafo, consistente in un quadrante di metallo colle lettere e cogli altri segnali distintamente incisi, e sopra cui si muove una lancetta di mica terminata in una punta nera a quella estremità che indica le lettere (*Tav.* IV, *Fig.* 122). Sulla stessa faccia della cassetta appariscono due altri piccoli fori, uno dei quali serve a introdurre la chiave onde montare la molla che fa agire la macchina, e l'altro piccolo per la chiave con cui si distende o si rallenta una piccola spirale di cui descriveremo in breve l'ufficio.

L'interno della macchina, vale a dire il vero apparecchio, si compone di due cilindri elettromagnetici *M* ed *N* (*Tav.* IV, *Fig.* 123) montati orizzontalmente e riuniti fra loro in modo da formare una vera calamita temporaria a ferro di cavallo: intorno ai cilindri di ferro dolce è avvolto per varie migliaja di giri un filo finissimo di rame coperto di seta, i cui capi *T* e *T'* comunicano l'uno colla terra, l'altro con una delle molle del manipolatore. Per mezzo di una vite, i due cilindri possono essere mossi orizzontalmente e in un modo assai regolare. Di contro ai due poli dei cilindri elettromagnetici è sospesa l'àncora *P* di ferro dolce, la quale secondo che la corrente circola o è interrotta, viene ad essere ora attratta ed ora abbandonata a sè. All'asta verticale *H K* dell'ancora è fissata una delle estremità di una piccola spirale *S* di ottone, la quale può essere più o meno distesa, mediante un filo di seta unito all'altra estremità, il quale passando dal foro *a*, viene ad avvolgersi intorno al perno *b*, che mette

capo a quel foro praticato nella faccia esterna della cassetta, già da noi accennato, e per cui s' introduce la chiavina destinata a regolare la tensione della spirale. S' intende ora come l'àncora ritenuta in una determinata posizione dal modo con cui è sospesa e dalla tensione varia della spirale, possa esser posta in oscillazione, quando per i passaggi e le interruzioni successive della corrente ora è attratta dai cilindri elettrodinamici, ed ora ristabilita al suo posto dalla elasticità della spirale. Non resta adunque se non concepire come da questi alternativi movimenti od oscillazioni dell'àncora si ottiene il moto della lancetta intorno al quadrante del telegrafo. Il meccanismo destinato a questa trasformazione di movimento è analogo a quello dello *scappamento* degli orologi a pendolo o a molla. Infatti la lancetta del telegrafo è fissata ad un asse che porta un piccolo rocchetto ed una ruota dentata Z, i cui denti sono tutti inclinati in un verso ed il loro numero è eguale alla metà dei passi che deve fare la lancetta percorrendo l'intiero quadrante. Per la indicata inclinazione de'suoi denti, la rotazione del sistema non può accadere che in un verso, ed è impedita nell'opposto. Un meccanismo d'orologeria messo in azione da una molla che si carica dall'altro foro esterno sopra indicato, qualora fosse lasciato libero presto si scaricherebbe, e le sue ruote e l' indice girerebbero con una velocità grandissima e varia, distruggendo in pochi istanti la forza motrice. Ma il pezzo dello scappamento, che fa parte dell'àncora di ferro dolce, è disposto in modo da entrare successivamente con una delle sue due palette fra i denti inclinati della ruota Z, per cui può essere ora permesso ed ora impedito a quella ruota e quindi all'indice di girare. Nell' istante in cui la corrente passa attorno ai cilindri elettro-magnetici, l' àncora è attratta, per cui la paletta dello scappamento essendo spostata, lascia passare il dente della ruota che tratteneva: intanto l'altra paletta si trova spinta contro il dente successivo, e così la lancetta fa un passo solo. Cessando la corrente e l'attrazione dell'àncora, la piccola spirale S rimette l'àncora al suo posto, ed in questo movimento accade un secondo passo dello scappamento, e quindi un secondo movimento della lancetta. Si vede adunque come continuando queste alternative, la lancetta deve percorrere successivamente tutto il quadrante.

Anche nell'apparecchio di *allarme* o *soneria* vi sono delle elettrocalamite, un'àncora di ferro dolce e un movimento d'orologeria; ma questo è più semplice di quello della macchina a segnali; non essendovi la ruota ed il pezzo dello scappamento. Nella soneria, la forza motrice, che è quella di una molla distesa, è ritenuta da un pezzo unito all'àncora nella sua posizione di riposo; allorchè la corrente passa, l'àncora è attratta, e lascia così libera l'azione della molla, per cui l'asta intorno alla quale è avvolta la molla prende a ruotare rapidamente, e in questo movimento incontra successivamente un piccolo battaglio e lo costringe ad urtare contro la sua campanina.

Telegrafo a segnali. La *Fig.* 124, *Tav.* V rappresenta l'apparato ricevitore di un telegrafo a segnali. Alla faccia anteriore di una cassa trovasi applicata una lastra bianca, sulla quale è segnata una traccia nera *m* avente a' suoi estremi due raggi mobili *o* ed *r* destinati a servire di indicatori per mezzo della loro inclinazione relativamente alla traccia fissa *m*. Il movimento di questi indicatori non è continuo, ma accade ad intermittenze con rotazione di 45 gradi ad ogni volta, in maniera che ciascuno di essi può occupare otto posizioni diverse attorno al suo centro. Le otto posizioni di uno degl' indicatori, combinate con quelle dell'altro, danno 64 combinazioni che costituiscono altrettanti segnali. Però siccome per ciascun indicatore i due segnali orizzontali potrebbero facilmente confondersi, se ne adopera soltanto uno, e quindi si hanno per ciascun indicatore sette segnali, che combinati coi sette dell'altro danno 49 segnali differenti. Il movimento di ciascuno degl'indicatori è prodotto da un congegno di orologeria e da un elettromagnete che è in comunicazione col filo che si stende da una stazione all'altra e che è attraversato dalla corrente.

L'apparato ora descritto è collocato al luogo dell'arrivo del dispaccio. All'altra stazione trovasi il manipolatore, il quale ha sempre una certa analogia con quello del telegrafo precedente, ove si ometta il quadrante. È composto di due ruote con otto denti, le quali fatte muovere colla mano servono a stabilire ed interrompere due correnti, una delle quali va all'elettromagnete dell' indicatore *o* e l'altra a quello dell' indicatore *r*. Durante una intiera rivoluzione ogni ruota

lascia passare otto volte la corrente ed altrettante la interrompe, e così l' indicatore corrispondente può assumere tutte le sue otto posizioni successive. Le manovelle che servono a muovere le due ruote s'avanzano anch'esse di 45 gradi ad ogni intervallo, e per tal guisa occupano successivamente le stesse posizioni dei loro indicatori. Infine per far muovere contemporaneamente queste due manovelle si girano l'una colla mano destra e l'altra colla sinistra.

Telegrafo scrivente. Questo telegrafo è quello immaginato dall'americano Morse. Esso consiste in una calamita temporaria fissata sopra un piano in modo da essere rivolti in alto i suoi poli. Questa calamita temporaria, come quella di ogni macchina telegrafica è formata da due cilindri di ferro dolce di piccole dimensioni, circondati da un filo di rame sottilissimo, bene isolato e che fa molte centinaja di giri intorno ad essi (*Tav.* V, *Fig.* 125). Quanto è maggiore la distanza dei punti fra cui si vuole stabilire la comunicazione telegrafica, tanto maggiore dev'essere la lunghezza del filo di rame, e quindi il numero de'suoi giri intorno ai cilindri di ferro. Un àncora *D* di ferro dolce, fissata ad una leva che assai delicatamente si muove intorno ad un pernio, viene in contatto dei poli della calamita, allorchè è attratta. Una molla *r* di acciajo è fissata alla parte inferiore della leva presso la sua estremità libera. A questa stessa estremità della leva è unita una punta o di acciajo assai duro, la quale cade esattamente sul mezzo del cilindro metallico *H*, ove esiste un solco circolare su cui si avvolge una striscia *h p* di carta che rimane tesa per essere come le corde senza fine avvolta pure intorno ad un altro cilidro. Allorquando la corrente passa, si magnetizza la calamita e l'àncora è attratta. Interrotto il circuito, cessa l'attrazione, e la molla riconduce la leva al suo posto. Intanto la punta di acciajo ha fatto un foro nella carta. Supponiamo ora che il cilindro metallico che è sotto la punta, sia mosso con un movimento di orologeria di un moto uniforme, in modo che la striscia di carta venga a scorrere sotto la punta. Se il circuito sta chiuso, si avrà una linea fatta dalla punta, la quale sarà più o meno lunga secondo il tempo che il circuito si tiene chiuso. Un accordo arbitrario di punti,

di spazi più o meno lunghi o di linee, costituisce l'alfabeto telegrafico con cui si fanno le comunicazioni.

Disposizione delle stazioni telegrafiche tra loro comunicanti. Onde completare la descrizione delle macchine telegrafiche, ci rimane per ultimo a dire della loro disposizione in due stazioni che corrispondono assieme. Nella *Fig.* 126, *Tav.* V si veggono disegnati in *a* ed *a'* i manipolatori delle due stazioni; *t* e *t'* sono le due macchine a segnali, e *s* ed *s'* le sonerie; *p* e *p'* sono le pile, *g* e *g'* i due galvanometri, ed *m* e *m'* sono due *commutatori*, vale a dire due apparecchi destinati a far comunicare una delle molle del manipolatore, ora colla soneria ora col telegrafo. A questo fine una striscia di metallo, che si fa girare per mezzo di un manubrio sopra un disco di legno, viene talora a congiungere i capi metallici della molla e del filo della macchina a' segnali, talora quelli della stessa molla e del filo della soneria. *F* è il filo metallico della linea che congiunge le due stazioni, e *I* ed *I'* sono le due lastre di rame che pescano ne'due pozzi presso le stazioni, e per mezzo delle quali il circuito si completa collo strato terrestre interposto. Ognuna di queste lastre di rame comunica con tre fili metallici; uno di questi fili termina col capo del filo avvolto intorno al cilindro elettromagnetico della macchina a segnali, il secondo col filo simile della soneria, e il terzo col polo negativo della pila.

Se ora ci faremo tornare in mente le disposizioni già descritte parlando delle molle del manipolatore e della loro comunicazione col filo della linea, colla macchina a segnali o colla soneria, e col polo positivo della pila, si potrà facilmente concepire, come partendo dal punto di riposo, possa ciascuna stazione comunicare e dar segnali all'altra, e come dopo due segnali dati ritornino le macchine delle due stazioni nelle stesse condizioni di riposo, per cui chi ha ricevuto quei primi segnali può rispondere a chi glieli ha inviati. Gettando gli occhi sulla figura si vedrà come al punto di riposo non vi è mai corrente che circoli, imperocchè in ognuno dei due manipolatori la molla che comunica col polo positivo della pila tocca in quell' istante un intervallo del disco che è in legno. Vediamo ora ciò che avviene allorquando s' imprende

a trasmettere dei segnali. A questo fine si comincia dal far girare di un passo il manipolatore, portando il manubrio nel foro che corrisponde al segno +, posto subito alla destra del segno — o di riposo, e spingendo il manubrio contro il punto di arresto. Per questo movimento la molla che comunica col polo positivo della pila viene in contatto di un intervallo metallico, mentre si porta sul legno l'altra molla che comunica colla propria macchina a segnali. Per questa nuova disposizione delle comunicazioni, la corrente della pila della stazione che scrive, traversa il proprio manipolatore, e per mezzo di quella molla che si trova in un contatto metallico continuo col manipolatore stesso, entra nel filo *F* della linea e giunge al manipolatore dell'altra stazione che trova nel punto di riposo, e quindi colla molla che comunica colla macchina telegrafica in comunicazione metallica col filo della linea. Traversato il filo di rame dei cilindri elettromagnetici, la corrente entra nella lastra del pozzo, traversa lo strato terrestre interposto, e giunta all'altra lastra della stazione che ha trasmesso il segnale, trova infine il polo negativo della pila. Nello stesso tempo è accaduta la magnetizzazione dei cilindri elettromagnetici della macchina ricevente, e quindi la sua lancetta si è portata sul segno +, nella stessa guisa del manubrio del manipolatore scrivente. Un secondo passo fatto fare a questo stesso manipolatore, portando il manubrio sulla lettera *A*, interrompe il passaggio della corrente, perchè rimette sul legno la molla che comunica col polo positivo della pila: cessa quindi la magnetizzazione dei cilindri della macchina ricevente, l'àncora di ferro dolce torna al suo posto, per cui anche l'indice fa un altro passo, e segna la lettera *A*. Questi movimenti accompagnati dalle medesime successioni d'interruzioni e di passaggi della corrente determinano il moto della lancetta intorno al suo quadrante, e servono così a indicare le varie lettere di cui si compone il dispaccio che si vuole trasmettere.

Induzione elettromagnetica.

Abbiamo poco innanzi veduto, come nella teoria di Ampère, si considerano le calamite quali conduttori percorsi da correnti circolari. Era dunque naturale il supporre che una calamita potesse dar luogo a dei fenomeni d'induzione; ed egualmente era ciò da supporsi per le calamite temporarie. Faràday dimostrò infatti questa conseguenza della teoria d'Ampère, con un bel numero di esperimenti, i quali perciò formano il compimento di quella teoria.

Se ad una di quelle spirali piane che abbiamo descritte parlando della induzione elettrodinamica, si avvicini rapidamente una verga calamitata, mentre le sue estremità sono unite ai capi del galvanometro, tosto vedesi che l'ago devia di un certo numero di gradi e indica una corrente che è in direzione contraria di quella che nella teoria amperiana si ammette che circoli nella estremità della calamita che è stata appressata alla spirale; seguitando a tenere su questa la calamita, ogni deviazione cessa in breve; ma se allora si allontana la sbarra dalla spirale, immediatamente l'ago devia dello stesso numero di gradi di prima; ma la deviazione è inversa alla precedente, e indica che la corrente che si produce nell'allontanamento della calamita è in direzione opposta di quella che nasce nell'avvicinamento. Queste correnti d'induzione ottengonsi meglio colle spirali cilindriche, introducendo nel loro interno i poli delle calamite. Possono anche prodursi coprendo con una spirale di filo di rame un pezzo di ferro dolce piegato a ferro di cavallo e legando le due estremità della spirale al galvanometro. (*Tav.* IV, *Fig.* 127). Accostando alle estremità della verga di ferro dolce i due poli di una calamita *a b*, all'istante si ha l'induzione prodotta dalla calamita temporanea. Infine può anche farsi una calamita temporanea colla corrente ed ottenersi la sua induzione sopra un'altra spirale. Se faremo uso di una spirale cilindrica avvolta su di un rocchetto, ed introdurremo nel suo interno un cilindro di ferro dolce, o meglio un fascio di fili di ferro ben ricotti, s'intenderà facilmente che al passare della corrente della

pila pei giri dell'elica il ferro si calamiterà; e ciò vale come se una calamita si fosse introdotta nel rocchetto, onde ne conseguirà che in quel primo momento circoleranno per l'elica, oltre la corrente primaria, anche l'estracorrente e la corrente indotta dalla calamita, e però all'attacco non si avrà scintilla anche quando la pila l'avesse data a circuito breve, e nemmeno la scossa, imperocchè le correnti indotte vanno per verso contrario a quello della corrente principale; ma al distacco il ferro scalamitandosi agisce come se si estraesse una calamita dal rocchetto, ed in conseguenza induce nella elica una corrente diretta, la quale unita alla estracorrente che pur va per lo stesso verso della corrente principale, dà luogo ad una luce assai più viva nella scintilla, per modo che una coppia alla Grove fa l'ufficio di 20 a 30 coppie almeno, e la scossa riesce anche molto vigorosa.

La terra essa pure essendo una enorme calamita, dovea manifestare le correnti d'induzione. Faraday fu il primo che giungesse a dimostrarlo colla esperienza. Egli prese un filo di rame di circa 3 metri di lunghezza e di 1 a 2 millimetri di diametro, lo unì colle sue estremità ai capi del galvanometro, quindi gli diede la forma di un rettangolo, che pose in direzione perpendicolare al meridiano magnetico, ed il cui lato inferiore era quello interrotto dal galvanometro. Questo rettangolo fu poi disposto in guisa che potesse rotare intorno al suo lato inferiore o ciò che torna lo stesso, in modo da far descrivere al lato superiore una superficie cilindrica intorno al lato inferiore. Quando si fa girare il rettangolo da nord a sud per mezzo giro si vede l'ago del galvanometro deviare per un verso, e per l'altro mezzo giro deviare pel verso contrario. Per una ruotazione intiera si hanno veramente quattro correnti, perocchè nel giro del rettangolo il lato che è in movimento si avvicina e si allontana da ciascun polo della calamita terrestre; e poichè due di queste correnti vanno per un verso, così il galvanometro pare che ne indichi due che sono veramente le due somme. Il fenomeno si riproduce egualmente in qualunque piano; non v'ha che un caso nel quale non si ottiene verun effetto; ed è quando la parte mobile del filo si muove parallelamente alla direzione dell'ago d'inclinazione;

ma non appena essa s'inclina su questa, tosto la corrente d'induzione si produce; e quando essa le è perpendicolare, giunge al suo massimo d' intensità. Non è necessario dare al filo la forma di un rettangolo; basta dargli la forma di una curva chiusa qualsiasi; ma quanto è più lunga la parte del filo a cui s' imprime un movimento, e quanto è maggiore lo spazio che gli si fa percorrere, tanto più considerevole è l'effetto.

La facilità colla quale il magnetismo terrestre può sviluppare delle correnti elettriche nei corpi in movimento, fa conoscere come non vi sia pezzo metallico che essendo posto in movimento, non sia per quella causa percorso da correnti elettriche. Faraday imprimendo un rapido moto di rotazione a un disco di rame orizzontale è riuscito ad ottenere delle correnti d' induzione che erano sempre dirette dal centro alla circonferenza o dalla circonferenza al centro, a seconda del verso della rotazione. Queste correnti rendevansi manifeste facendo comunicare una delle estremità del galvanometro coll'asse di rotazione, e l'altra colla circonferenza del disco. Nessun effetto avea luogo, quando il disco girava nel piano del meridiano magnetico o in qualunque altro piano che passasse per la linea d'inclinazione; ma tosto che il piano in cui ruotava era inclinato anche di un piccolo angolo su quella direzione, la corrente si produceva ed era massima quando quell'angolo era di 90°. Con un globo di rame disposto in modo che il suo asse di rotazione sia inclinato alla direzione dell'ago di inclinazione, ma rimanga nel piano del meridiano magnetico, si ottengono, col farlo ruotare, delle correnti d'induzione che sono abbastanza forti per fare deviare un piccolo ago magnetico astatico che vi si accosti; e le sue deviazioni cangiano di direzione a seconda della direzione del movimento del globo.

Barlow ha ottenuto gli stessi effetti con un globo di ferro posto nelle stesse circostanze; ed ha così stabilito la differenza che esiste tra l'azione di un globo di ferro in riposo e quella di un globo di ferro in movimento, sopra un ago magnetico.

Macchine d'induzione elettromagnetica ed elettrotellurica. La prima macchina d'induzione elettromagnetica colla quale

si poterono ottenere dalle correnti indotte gli ordinarj effetti delle correnti voltaiche, vale a dire la scintilla ec., fu quella immaginata da Nobili ed Antinori, nella quale l'induzione era prodotta da un grosso fascio di calamite artificiali a ferro di cavallo, sopra un lungo filo di rame avvolto replicatamente attorno ad un'àncora di ferro dolce. Mediante una leva si otteneva il distacco di quest'àncora dalla calamita, ed in quell'istante una piccola scintilla balenava tra una piccola molla metallica e la calamita stessa. Con altro congegno poteansi anche ottenere delle scosse assai forti nel momento del distacco e in quello dello attacco. Quest'apparecchio fu denominato *calamita scintillante;* ma poco appresso Pixii, Clarke ed altri ne costrussero degli assai più potenti e ad azione continua. *L'apparecchio di Clarke* è rappresentato dalla *Fig.* 128, *Tav.* V. *A* rappresenta una calamita artificiale a ferro di cavallo composta di un certo numero di lamine di acciaro calamitate e quindi unite in fascio magnetico: essa è mantenuta addossata ad una tavoletta verticale di legno mercè delle viti di ottone. Dinanzi ai poli di questa calamita possono rotare due rocchetti *B B'* di filo di rame vestito di seta che avvolgono due cilindri di ferro dolce congiunti da una traversa del medesimo metallo, in guisa da formare una vera calamita temporaria; questi rocchetti girano insieme intorno ad un'asse comune che passa tra essi mercè una ruota *R* munita di fune perpetua. Le due eliche sono una destrorso e l'altra sinistrorso, e sono unite in modo che le origini delle due spirali sieno congiunte da una parte e gli estremi dall'altra. Per questa disposizione la corrente indotta si dirige nello stesso verso nei capi riuniti. Le origini delle due eliche comunicano con un anello metallico *q* sovrapposto all'asse di rotazione il quale è pure metallico, ma tra l'anello è l'asse v'ha un altro anello intermedio di avorio. Gli estremi delle eliche comunicano invece coll'asse di rotazione. Or dunque se si suppone l'anello metallico *q* messo in comunicazione coll'asse, il circuito sarà chiuso; altrimenti sarà interrotto. Onde l'anello metallico anzidetto e l'asse sono i due poli dell'apparecchio. Ciò posto, quando l'elettromagnete gira, i suoi due rami si calamitano alternativamente in senso contrario sotto l'influenza della calamità *A*,

ed in ciascun filo si produce una corrente indotta che cangia direzione ad ogni mezza rivoluzione. Per intendere l'andamento di queste correnti, bisogna rammentare che i due capi del filo terminati all'anello *q* danno una corrente diretta nello stesso verso, e che altrettanto accade di quelli che si riuniscono all'asse. Ora dinanzi all'anello *q*, trovasi un altro anello o ghiera *o*, formato da due pezzi metallici eguali, isolati l'uno dall'altro, ma comunicanti l'uno con *q* l'altro coll'asse. Ne resulta che durante la rotazione dello elettromagnete, ciascuna metà della ghiera *o* rappresenta un polo che cangia di segno ad ogni mezza rivoluzione. Dai due pezzi di *o* la corrente passa sopra le due lamine di ottone *b* e *c* e di là sulle lastre *m* ed *n*. Per questa disposizione, in ciascuna delle lamine *b* e *c* la corrente è sempre diretta nello stesso verso. Infatti la lamina *c* tocca l'uno dopo l'altro i due pezzi di *o*, epperò trovasi successivamente in comunicazione coll'asse e con *q*, e quindi coi due capi dei fili, poi cogli altri due. Ma essendo i fili avvolti in direzione contraria, quando il rocchetto *B'* prende il posto di *B*, la corrente dell'anello *q*, come quella dell'asse cangia di segno e per conseguenza altrettanto avviene di ciascuna metà della ghiera *o;* e siccome allora la lamina *c* ne tocca la metà opposta a quella con cui era prima in contatto, la corrente che passa per la lamina è diretta ancora nello stesso verso. Colle sole due lamine *b* e *c* le due correnti contrarie che partono dai due pezzi di *o* non potrebbero riunirsi; ma la riunione si opera per mezzo della terza lamina *a* e di due appendici *i*, delle quali una sola è visibile nella figura. Queste due appendici sono isolate l'una dall'altra sopra un cilindro di avorio, ma comunicano respettivamente coi pezzi di *o*. Ogni qualvolta la lamina *a* tocca una di queste appendici, è in comunicazione colla lamina *b*, e la corrente è chiusa perchè passa di *b* in *a*, poi nella lamina *c* per la lastra *n*. Al contrario finchè la lamina *a* non tocca una delle appendici la corrente è interrotta. Al momento in cui la corrente s'interrompe si possono ottenere fortissime commozioni. A questo effetto si fissano in *m* ed *n* due lunghi fili di rame ravvolti ad elica e terminati da due cilindri *p* e *p'* che si prendono tra le mani. Allora ogni volta che la

corrente s' interrompe, producesi nel circuito formato dai fili $n\ p$, $r\ p'$ e dal corpo dell'esperimentatore una estracorrente istantanea che cagiona una forte scossa. Questa si rinnuova ad ogni mezza rivoluzione dell'elettromagnete, e la sua intensità aumenta colla velocità di rotazione. Allora i muscoli si contraggono con tale violenza che non possono obbedire alla volontà, e le dita non si possono più distendere. Coll'apparato di Clarke si fanno produrre alle correnti di induzione magnetica tutti gli effetti delle correnti voltaiche. La fig. 129 mostra come si disponga l'esperimento della decomposizione dell'acqua. Allora si sopprime la lamina a, trovandosi chiusa la corrente dal liquido in cui s'immergono i due fili che servono di elettroidi. Per gli effetti fisiologici e chimici il filo avvolto sui rocchetti è sottile ed ha sopra ciascun rocchetto la lunghezza di 500 a 600 metri. Per gli effetti fisici al contrario, il filo è grosso, ed ha una lunghezza di 25 a 30 metri sopra ogni rocchetto.

Apparecchio d'induzione per dare le scosse ai malati. Consiste in un rocchetto di legno su cui s'avvolge replicatamente un filo di rame sottile coperto di seta, nel quale si fa passare la corrente di uno a due elementi di Bunsen. Nell'interno del rocchetto si può disporre a volontà un fascio di fili di ferro. L'apparato è disposto in modo che il circuito si apra e si chiuda da sè, onde produca le commozioni in chi tiene in mano i due capi del filo nel punto della sua interruzione. A quest'uopo il filo conduttore è interrotto in un altro punto, e quivi uno dei suoi capi è saldato a un pezzo di ferro che è tenuto a contatto dell'altro capo per mezzo di una molla, e così il circuito è stabilito. Ma quando passa la corrente il pezzo di ferro è attratto dal fascio dei fili di ferro contenuti nella spirale e che sono divenuti magnetici, e perciò è sollevato dalla sua posizione, e così il circuito viene interrotto: allora la molla respinge il ferro al suo posto cessando di essere attratto, e così il circuito è ristabilito. Quest'apparecchio agisce in virtù dell'estracorrente e delle correnti istantanee d'induzione che si generano nel fascio dei fili di ferro, al momento che la corrente s' interrompe; nel modo che abbia-

mo avuto luogo di accennare di sopra. Nel medesimo si può regolare l'intensità degli effetti, introducendo nell'interno del rocchetto un maggiore o minor numero di fili di ferro.

Apparecchio d'induzione tellurica. Questo apparecchio devesi ai fisici italiani Palmieri e Linari. Esso è composto di un'elica *a b* (*Fig.* 130, *Tav.* V), di filo di rame vestito di seta, di figura ellittica, mobile intorno all'asse maggiore; di un sistema di ruote dentate *V* per aumentare la velocità di ruotazione, e di un meccanismo situato sulla mensola *C*, simile a quello descritto nell'apparecchio di Clarke, destinato alla interruzione del circuito. I capi dell'elica comunicano in conseguenza, come nel citato apparecchio di Clarke uno con l'asse metallico, e l'altro con l'anello pure metallico soprapposto all'asse anzidetto dal quale è isolato per un anello di avorio interposto. Il sostegno ed il motore sono di ferro, solo il primo rocchetto ha i denti di legno per evitare il rumore, e di legno è pure il telajo ellittico sul quale l'elica è adagiata.

Situato l'apparecchio in modo che l'asse di rotazione dell'elica avvolta sul telajo di legno sia perpendicolare al meridiano magnetico, se si faccia ruotare con una certa velocità, regolando le cose in modo che il circuito s'interrompa nel momento in cui la corrente passa colla maggiore efficacia si vedrà balenare la scintilla. Impugnando con le mani bagnate di acqua acidulata o salata i manubri *K* si avrà la scossa; infine si potranno ripetere con questa macchina tutte le esperienze che si fanno con quella di Clarke.

Magnetismo di rotazione. L'azione reciproca fra le calamite e tutti i corpi conduttori allorchè sono in movimento è una conseguenza dei fenomeni d'induzione elettrodinamica trovati da Faraday. La scoperta di quest'azione è dovuta ad Arago. Questo fisico osservando le oscillazioni di un ago calamitato contenuto in una scatola di rame, fu sorpreso di vedere che il numero delle oscillazioni che faceva diminuivano assai rapidamente di ampiezza e cessavano ben tosto, per quanto avesse cura di render mobile l'ago; mentre adoperando lo stesso ago fuor della scatola di rame, le sue oscillazioni si conservavano dell'ampiezza ordinaria. Essendosi dato l'Arago a

rintracciare la causa di questo fenomeno, fece oscillare successivamente sopra diversi dischi di rame più o meno grossi uno stesso ago calamitato, e vide che l'ampiezza delle oscillazioni diminuiva tanto più rapidamente quanto più il disco era grosso. Herschel e Babbage ripeterono poscia questa osservazione adoperando piatti di altri metalli, e stabilirono che l'accennata azione sull'ago variava nei metalli nell'ordine seguente, in cui l'azione del rame è rappresentata dall'unità.

Rame	1,00	Zinco	0,03
Stagno.	0,46	Antimonio	0,09
Piombo.	0,25	Bismuto	0,02

Poichè il rame e gli altri metalli non agivano in alcun modo sull'ago calamitato allorchè questo era in riposo, bisognava concludere che la causa di quest'azione risiedeva nel movimento dell'ago. Laonde Arago venne a pensare che se l'ago fosse in riposo, ed in sua vece il piatto metallico in movimento, l'azione si produrrebbe anche in tal caso, e l'ago sarebbe deviato. L'esperienza confermò questa deduzione, e il resultato fu maggiore della previsione, perocchè non solo l'ago venne a deviare, ma si pose rapidamente a ruotare insieme al disco. L'apparecchio adoprato da Arago consiste in un disco di rame x (*Tav.* IV, *Fig.* 131) montato sopra un'asse verticale, al quale per un meccanismo di orologio può comunicarsi un movimento di rotazione. Una lastra di vetro p p' è sostenuta sopra il piatto di rame, e sopra questa lastra posa una campana di vetro c c'. Un ago calamitato t t è sospeso nell' interno della campana: il filo f cui è sospeso, e il mezzo dell'ago cadono sopra il centro del piatto. Si fa scendere l'ago più vicino che si può alla lamina di vetro e quindi al piatto. La lamina di vetro non ha altro oggetto che di non far sentire all'ago la corrente d'aria messa in moto dalla rotazione del disco. Appena il disco comincia a ruotare, l'ago devia dal meridiano magnetico, quindi si pone esso pure a ruotare nella direzione stessa del disco. Il fenomeno si produrrebbe più difficilmente se il disco presentasse delle soluzioni di continuità, e fosse tagliato nella direzione dei raggi. L' interposizione del ferro o delle altre sostanze magnetiche tra l'ago e il disco impedisce affatto il fenomeno.

Dopo le scoperte del Faraday sull'induzione elettromagnetica, i fenomeni del magnetismo di rotazione hanno ricevuto una soddisfacente spiegazione.

Allorquando si accosta una calamita a un disco metallico, e quindi se ne allontana, si produrranno nel disco medesimo delle correnti d'induzione. Sulle parti del disco che si allontanano dai poli le correnti saranno *dirette;* mentre nelle parti che vi si avvicinano le correnti saranno *inverse.* Lo stesso accadrà se la calamita sarà immobile ed invece ruoterà il disco. Le correnti dirette che si produrranno nei punti del disco che si allontanano dalla calamita spiegheranno su di essa un'azione attrattiva, mentre quelle inverse che si producono nei punti che le si avvicinano la respingeranno, laonde queste due azioni si uniranno per trascinare la calamita o l'ago magnetico nel verso stesso del disco. Dopo ciò è facile intendere l'influenza che esercitano nei fenomeni del magnetismo di rotazione le soluzioni di continuità del disco. Esse diminuiscono l'azione coll'opporsi alla circolazione delle correnti d'induzione. Le differenze di forza osservate nei dischi di metalli diversi, si spiegano pure colla differenza che esiste nel loro potere conduttore, per il quale le correnti indotte circolano più o meno facilmente nel disco.

---

4. Della Luce.

Quella parte della Fisica che prende a studiare i fenomeni dovuti alla luce, è distinta col nome di *Ottica.*

La luce è quell'agente di natura per mezzo del quale gli oggetti ci riescono visibili e variamente coloriti. — I corpi *luminosi* son quelli nei quali ha origine questo agente; tali sono per esempio, il sole, le stelle, i corpi in combustione ed in ignizione; mentre sono corpi *illuminati* quelli sui quali esso agisce.

Si sono immaginati due sistemi intorno alla natura della luce. Newton ammetteva che la luce fosse dovuta alla emissione di un fluido imponderabile, le cui sottili particelle fossero in tutte le direzioni lanciate nello spazio dai corpi luminosi. Descartes supponeva invece che la luce altro non fosse che il resultato di certe particolari vibrazioni che subissero le molecole dei corpi luminosi, le quali si propagassero da queste attraverso un fluido sottilissimo ed elastico designato col nome di etere, di cui supponeva fosse riempito l'universo, nel modo stesso con cui le onde sonore si propagan nell'aria. Vi sono certi fenomeni luminosi, come quelli della diffrazione e degli anelli colorati, dei quali non si può dare spiegazione col sistema dell'emissione; mentre sono stati completamente spiegati da Fresnel col soccorso della teoria delle ondulazioni. Perciò oggidì quest'ultima teoria è quella generalmente adottata.

1.° *Propagazione della luce.*

L'osservazione giornaliera c'insegna che la luce si propaga in tutti i versi dai corpi luminosi; così per esempio la fiamma di una candela sarebbe visibile da tutti i punti di una sfera di cui occupasse il centro, e nello immenso spazio del cielo il sole diffonde per ogni lato la sua luce, la quale risplende contemporaneamente sul nostro globo, sui pianeti, sui satelliti, e su tutti gli altri astri del firmamento, qualunque sia il punto che occupano nella sfera infinita nel mondo. La luce è capace di propagarsi attraverso il vuoto ed attraverso i corpi ponderabili. Difatti la luce del sole e delle stelle non giunge a noi, se non dopo aver traversato degl'immensi spazj vuoti, e quindi la nostra atmosfera; inoltre sappiamo che essa è capace di traversare certi liquidi, come l'acqua ed anche alcuni solidi, come i vetri e i cristalli.

I corpi che si lasciano traversare dalla luce diconsi *trasparenti*, mentre quelli che non sono capaci di trasmetterla attraverso di loro diconsi *opachi*. I corpi trasparenti debbonsi poi più particolarmente distinguere in *diafani* ed in *translucidi:* i primi son quelli che lasciano scorgere attraverso di essi la forma, il colore e tutte le accidentalità degli oggetti; cioè a

dire che si lasciano traversare da tutta la luce da cui sono colpiti gli oggetti; gli altri non si lasciano traversare che da una porzione della luce dei corpi luminosi o dei corpi illuminati, per cui gli oggetti non scorgonsi distintamente attraverso di essi. Corpi diafani sono per esempio l'aria, l'acqua, il vetro; corpi translucidi sono per esempio il talco, la carta, il vetro smerigliato.

La luce si propaga in linea retta in un mezzo omogeneo. Disponendo sopra una lunga riga tre dischi traversati nel loro centro da un foro piccolissimo, in modo che i loro fori sieno tutti sulla medesima linea retta, si vede dal primo foro la fiamma di una candela posta a grande distanza dall'ultimo disco. Se la luce dalla candela seguisse una linea curva non sarebbe possibile scorgerne la fiamma attraverso i tre dischi posti ad una grande distanza l'uno dall'altro. È anche facile convincersi della direzione rettilinea della luce, facendo entrare la luce solare da un piccolo foro entro una stanza oscura: il polviscolo che nuota nell'aria essendo illuminato lascia scorgere la strada della luce, costituendo una lunga striscia lucente. Ogni linea retta presa sul cammino per cui si propaga la luce si dice *raggio luminoso:* un insieme di raggi emessi da una stessa sorgente, dicesi *fascio luminoso*; e questo vien detto *parallelo* quando è composto di raggi paralleli, *divergente* quando i raggi che lo formano si allontanano fra loro, e *convergente* quando i medesimi invece concorrono tutti verso un punto.

Ombra. L'ombra non è altro che l'oscurità prodotta dall'interposizione di un corpo opaco, che impedisca ai raggi luminosi di proseguire la loro strada. Infatti consideriamo un punto luminoso S, ed un corpo opaco qualunque M (*Tav.* V, *Fig.* 131), e concepiamo la retta $S\ C$ che passi pel punto luminoso e faccia una rivoluzione intorno al corpo illuminato, scorrendo tangenzialmente al contorno di esso; una tal linea descriverà una superficie conica, di cui la linea di contatto col corpo opaco separerà evidentemente la parte del corpo che riceve la luce da quella che non ne riceve. Il cono al di là del corpo comprende uno spazio nel quale la luce non penetra: questo spazio forma l'ombra del corpo; e se si sup-

porrà di tagliare questo spazio con un piano, su questo verrà a tracciarsi il contorno $C\ H$ dell'ombra.

Penombra. Allorquando un corpo luminoso ha delle dimensioni determinate, l'ombra di un corpo ricevuta su di un piano non presenta un passaggio brusco dalla oscurità alla luce, ma sivvero una gradazione continuata per mezzo di cui dall'ombra pura si passa alla piena luce. Infatti sieno $P\ Q\ S$ tre punti irradianti, A un corpo opaco qualunque; l'ombra che questo produce relativamente ai punti $P\ Q\ S$ è determinata dai raggi estremi Pp, Pp', Sr', Sr, Qq, Qq' che radono il corpo. Ora è da osservarsi che lo spazio $p\ a\ b\ q'$ non riceve alcuno dei raggi dei punti luminosi $P\ S\ Q$, per cui è nella oscurità più perfetta, mentre che gli spazj $p\ a\ r$, $r\ a\ q$ di sopra, e $q'\ b\ r'$, $r'\ b\ p'$ di sotto, sono nell'ombra relativamente a due o a uno dei detti punti luminosi, mentre sono illuminati da uno o da due dei medesimi. Così per esempio lo spazio $p\ a\ r$ è nell'ombra relativamente ai punti Q ed S, mentre è illuminato dal punto P, e lo spazio $r\ a\ q$ è nell'ombra relativamente al punto Q, mentre è illuminato dai punti P ed S. Perciò lo spazio $p\ a\ r$ è meno oscuro dello spazio $p\ a\ b\ q'$ ove l'ombra è totale, e lo spazio $q\ a\ r$, è meno oscuro del precedente, e da esso si passa alla luce perfetta nello spazio situato al di là della linea $a\ q$, che è illuminato da tutti e tre i punti luminosi. Lo stesso dicasi degli spazj inferiori $q\ b\ r'$, e $r'\ b\ p'$. L'intervallo compreso fra l'ombra perfetta e la piena luce, è ciò che dicesi *penombra* o *mezzombra.* Se gl'intervalli che separano i punti $P\ S\ Q$ sono riempiti da altri punti luminosi, il passaggio dall'ombra perfetta alla piena luce succede con una gradazione insensibile, e la penombra è costituita da una sfumatura di tinte.

Se il corpo luminoso è più grande del corpo opaco, l'ombra diminuisce gradatamente d'estensione, fino a terminare in un punto. Prende perciò la forma di un cono, la cui base è appoggiata sul corpo opaco, e il cui apice è all'estremità dell'ombra. Tale è per esempio l'ombra della terra illuminata dal sole (*Tav.* V, *Fig.* 133). Se il corpo luminoso è più piccolo del corpo opaco l'ombra prende la figura di un cono troncato di una lunghezza indefinita. Tale si è per esempio l'ombra della terra illuminata dalla luna (*Tav.* V, *Fig.* 134).

L'indicata determinazione geometrica dell'ombra e della penombra che formansi dietro un corpo illuminato non è fisicamente esatta. Difatti si riconosce che una certa quantità di luce passa nell'ombra, e reciprocamente si trova dell'ombra nella parte rischiarata. Questo fenomeno dipende da ciò che i raggi luminosi s'inflettono rasentando i corpi gli uni verso l'ombra, gli altri verso l'esterno; ma poichè questa inflessione è debolissima l'*ombra fisica* o reale differisce poco dall'ombra geometrica, eccetto però in alcune circostanze particolari di cui parleremo trattando della diffrazione.

Immagini prodotte dal passaggio della luce per le piccole aperture. Il principio generale della propagazione della luce, ci spiega ancora quei fenomeni che avvengono allorquando si raccoglie su di un diaframma la luce che si è fatta penetrare da una piccola apertura. Le esperienze relative a questi fenomeni si fanno nella così detta *camera oscura*, la quale consiste in una stanza chiusa da ogni lato ed impermeabile ai raggi luminosi, e con le pareti tinte di nero a fine d'impedire l'influenza della luce riflessa. La luce vi può solo penetrare da uno o da varj fori praticati in un'imposta di una finestra situata dalla parte di mezzogiorno. Supponiamo che esternamente dinanzi ad uno di questi fori di un diametro di uno a due centimetri, sia situato un oggetto rischiarato dai raggi del sole; esso verrà a dipingersi a rovescio sulla parete opposta al foro; e se la giornata sarà risplendente appariranno ancora perfettamente i suoi colori. Si osserverà inoltre che la grandezza della immagine è proporzionale alla distanza del foro dalla parete o dal diaframma su cui si raccoglie l'immagine. Per intendere questo fenomeno si supponga l'oggetto in questione rappresentato dalla freccia *A B* (*Tav.* V, *Fig.* 135). Ogni suo punto perfettamente illuminato dal sole invia la luce da ogni parte: dall'estremità *A*, per esempio, parte fra gli altri un raggio che traversa il foro, e va a colpire la parete in *a* mentre che dal punto *B* parte un raggio che colpisce la parete in *b*; lo stesso accade di tutti i punti intermedj, dimodochè l'immagine è necessariamente in senso inverso dell'oggetto. Si vede chiaramente nella figura, come raccogliendo l'immagine ad una maggior distanza dal foro, essa debba esser più grande. S'intenderà anche facilmente come avvenga che la

forma della immagine è indipendente da quella dell'apertura, quando questa sia abbastanza piccola, e il diaframma si trovi a sufficiente distanza. S'immagini infatti che il pertugio della camera oscura sia di forma triangolare e che l'oggetto luminoso di cui si vuole avere l'immagine sulla parete opposta della camera oscura, sia una fiamma collocata all'esterno. Da ogni punto di questa penetra nella camera oscura un fascio divergente che forma un'immagine triangolare simile all'apertura. Ora dalla riunione di tutte queste immagini parziali risulta un'immagine totale che ha la stessa forma dell'oggetto rischiarante. Egli è per questa ragione che se si fanno passare i raggi provenienti direttamente dal sole entro la camera oscura l'immagine di quest'astro che vi si forma è sempre rotonda, sia pur qual vuolsi quella del pertugio. In ogni caso l'orifizio della camera oscura diviene l'apice di due coni luminosi che hanno per base l'uno il corpo luminoso stesso, l'altro l'immagine di esso. Quindi se il diaframma su cui l'immagine si forma è perpendicolare alla retta che congiunge il centro dell'apertura col centro del corpo luminoso, l'immagine è simile a questo corpo; ma se il diaframma è obliquo, l'immagine è allungata nel verso della obliquità. Per questa ragione s'intende facilmente perchè i raggi del sole che traversano gl'interstizi delle foglie degli alberi formano sul suolo delle immagini luminose rotonde od ellittiche, secondo che i raggi solari cadono perpendicolarmente od obliquamente sul terreno sul quale esse projettansi. Il passaggio dall'immagine luminosa all'oscurità, non si fa nella camera oscura in un modo brusco, ma bensì gradatamente. Difatti sieno P S Q tre punti luminosi i cui raggi penetrano nella camera oscura pel foro a b (*Tav.* V, *Fig.* 136) e producono in essa dei fasci conici di luce p P p', s S s', q Q q'. Questi fasci in alcuni luoghi s'intersecano e danno luogo a spazj diversamente rischiarati. Lo spazio p a b q' è illuminato da tutti e tre i punti irradianti; gli spazi s a p', s' b q', invece ricevono luce soltanto da due punti, mentre gli spazj s a q', s' b q' sono rischiarati da un sol punto luminoso, e il rimanente della camera in A, B, non riceve altro raggio diretto di luce.

Velocità della luce. La velocità della luce è così grande che alle distanze valutabili sulla superficie della terra non si

osserva mai differenza di tempo sensibile fra l'apparire di un corpo luminoso e la sensazione che ne proviamo. Si richiedevano spazi molto più vasti per assicurarsi se la luce impiegava realmente un tempo apprezzabile per trasmettersi da un luogo ad un altro; e difatto Cassini e Roemer diressero le loro osservazioni sui fenomeni luminosi degl'immensi spazj del cielo, e nel 1676 trovarono la risoluzione del problema nell'osservazione degli eclissi del primo satellite di Giove. La *Fig.* 137, *Tav.* V può dare un'idea di queste osservazioni: *S* rappresenti la posizione del sole, *T* la terra, la quale nel percorrere la sua orbita può trovarsi in *T* e in *T'*; *G* rappresenti il pianeta Giove ed *L* un suo satellite la cui orbita è *A B C D*. Quando il satellite *L* entra nell'ombra *G g* projettata da Giove, viene eclissato, e l'osservatore sulla terra situata in *T* trova che l'emersione del satellite dall'ombra si vede 16', 26'' più presto di quando la terra è posta in *T'*, all'altra estremità del diametro *T T'* dell'orbita terrestre. Ne resulta che la luce impiega appunto 16', 26'' a percorrere questo spazio, ossia 8', 13'' a percorrerne la metà *S T*, ossia a giungere dal sole fino alla terra. Il raggio medio dell'orbita terrestre è di 24047, 1 raggi equatoriali della terra, ciascuno dei quali si valuta di 6376600 metri, per cui resulta che in 8', 13'' la luce percorre lo spazio di metri $\frac{24047,1 \times 6376600}{8,\ 13} = 310905794$; cioè la luce ha la velocità di 310906 chilometri per secondo. Il suono avendo soltanto la velocità di 340 metri; ne risulta che la luce ha una velocità più di 900mila volte maggiore di quella del suono. È stato inoltre calcolato che la velocità della luce è 500mila volte maggiore di quella di una palla di cannone, la quale perciò conservando sempre la stessa velocità impressale dalla scarica, impiegherebbe a venire dal sole alla terra circa 8 anni. L'osservazione dimostra che tutti gli astri diffondono la luce colla stessa velocità di quella del sole; perciò pei pianeti e gli astri che sono a grande distanza dalla terra, la luce riflessa o diretta che c' inviano impiegherà un tempo più o meno grande secondo la loro posizione. Urano, che è uno dei più lontani pianeti ed ha per media distanza dalla terra 3004 milioni di chilometri, impiegherà quasi tre ore ad inviarci la luce che riceve dal sole. L'astronomo che

osserva quel pianeta non lo vede, ove realmente si trova, ma dove era tre ore prima, e se esso scomparisse dal firmamento si vedrebbe ancora tre ore dopo di avere cessato di esistere. Le stelle fisse si trovano a distanze così enormi dalla terra che la loro luce richiede qualche anno per venire sulla terra, sicchè le vediamo in luoghi dove più non sono da molto tempo. Tuttociò che esiste nel cielo al di là del nostro sistema, potrebbe esser rotto, confuso, annientato, senza che ce ne accorgessimo, e si continuerebbe ancora assai tempo a vedere come oggidì il magnifico spettacolo del firmamento, mentre altro non sarebbe allora che una completa illusione, un' immagine senza realtà.

Intensità della luce. L'intensità della luce è costituita dalla quantità assoluta di luce sparsa sopra una superficie presa per unità di misura; quindi il numero che esprime questa intensità si ha dividendo la quantità di luce che cade sopra una data superficie, per l'estensione stessa di questa superficie.

L'intensità della luce è in ragione inversa del quadrato della distanza del punto luminoso. È noto che le sezioni a b ed a' b' di un cono diritto (*Tav.* V, *Fig.* 138), stanno fra loro come i quadrati delle distanze c s e c' s dall'apice: c' s' essendo per esempio doppio di s c, la sezione a' b' sarà quadrupla della sezione a b. Ora questo cono essendo un fascio luminoso, è evidente che la quantità di luce che cade sopra a b è la stessa di quella che cade sopra a' b', e poichè in quest'ultimo caso essa è sparsa sopra uno spazio quadruplo, essa ne deve rischiarare ogni punto con un'intensità quattro volte più piccola. Resulta da questa legge che se una persona legge appena i caratteri di un libro alla luce di una candela, per leggerli, ad una distanza doppia le abbisogneranno quattro candele d'eguale facoltà illuminante.

L'intensità della luce dipende anche dalla posizione della superficie per rapporto ai raggi dai quali viene rischiarata. Sia S un punto lucido (*Tav.* V, *Fig.* 139), che rischiara la linea d'una superficie passata successivamente dalla posizione A B alla posizione A C, la quale fa nei due casi collo stesso raggio S C, gli angoli S B $A = x$, S C $A = y$. Tutti i raggi che illuminano la superficie A B cadono anche sulla A C, e

perciò le intensità D, d della luce saranno in ragione inversa delle superficie rischiarate o delle loro basi $A\ B$, $A\ C$; ossia si avrà $D : d :: A\ C : A\ B$. Ma la trigonometria c'insegna che $A\ C : A\ B :: \text{sen}\ x : \text{sen}\ y$, e da ciò vedesi che *l'intensità della luce è in ragion diretta del seno dell'angolo che fa il raggio colla superficie rischiarata.*

È questa una delle ragioni principali per cui i raggi solari producono sul nostro globo maggior illuminazione nelle ore meridiane che in quelle del mattino e della sera, essendo nel primo caso meno obliqui che negli altri due. Parimente la luce riesce più viva nell'estate che nell'inverno benchè il sole sia più distante nella prima che nella seconda stagione.

Quella parte dell'ottica che ha per oggetto di misurare la intensità delle diverse luci dicesi *fotometria*, e *fotometri* diconsi gl'istrumenti destinati a questa misura.

Il fotometro immaginato da Leslie è fondato sull'ipotesi che l'intensità della luce sia proporzionale alla temperatura che l'accompagna. Questa ipotesi non è generalmente esatta, ma sembra che per la luce del sole non sia in opposizione col fatto. Il fotometro di Leslie altro non è che una modificazione del termometro differenziale del medesimo fisico, giacchè ne differisce soltanto nell'avere una delle palle di vetro nero: questa assorbendo tutto il calore della sorgente, misura, coll'inalzamento del liquido nell'istrumento, l'intensità della luce della medesima (*Tav.* V, *Fig.* 140). Per evitare l'influenza dei movimenti dell'aria l'istrumento è rinchiuso in una campana di vetro, come è indicato nella figura. Col descritto istrumento Leslie ha stabilito che la luce del sole era eguale a quella di 12,000 candele; ma questo resultato, come tutti gli altri di Leslie su questo soggetto, debbonsi riguardare come ben lungi dall'esattezza.

Rumford si è servito di un altro processo fotometrico, che sembra assai migliore. Egli confrontava la intensità di due fiamme paragonando le ombre che producono. Allorchè due corpi luminosi M ed N situati su di un piano illuminano nello stesso tempo una medesima superficie $C\ D$ consistente in un vetro spulito, in una carta bianca ec., si può interporre un corpo opaco P in modo che si formino sul piano le due ombre

A e *B*; la prima prodotta dal lume *M* e la seconda *B* dal lume *N* (*Tav.* V , *Fig.* 141). Le due ombre sono egualmente rischiarate dalla luce che si diffonde su tutti gli altri punti del piano *C D* provenieute dai due lumi *M* ed *N*; perciò la loro densità relativa dipende soltanto dalla minor quantità di luce di cui è dotato ciascun lume che le ha prodotte. Se i due lumi fossero dotati di egual facoltà illuminante è chiaro che le due ombre riuscirebbero di egual densità. Se i due lumi sono di differente forza si potrà allontanare dal piano di projezione quello di maggiore splendore, di tanto che le due ombre compariscano egualmente intense: allora misurando le distanze dei due lumi dal piano di projezione, si avranno le loro facoltà illuminanti in ragione diretta dei quadrati di queste distanze.

2.° *Catottrica, ossia della riflessione della luce.*

Se la luce nel propagarsi incontra un corpo, vien tosto da questo più o meno respinta indietro. La riflessione della luce si distingue in regolare o speculare e irregolare. La prima accade quando un raggio luminoso incontra nel suo cammino un corpo a superficie ben liscia e levigata; la seconda quando incontra un corpo scabro e striato. I corpi lisci che riflettono regolarmente la luce si dicono *splendenti*, mentre gli altri sono solamente visibili. Per la riflessione regolare si presenta al nostro occhio, sotto la sua forma l'immagine del corpo luminoso, mentre per la irregolare vediamo soltanto il corpo illuminato.

Nulla è più facile quanto mostrare il fenomeno della riflessione regolare. Basta far cadere obliquamente un raggio solare sopra uno specchio metallico in una camera oscura; tosto il medesimo s'interrompe cadendo su quella superficie, e prende una nuova direzione contraria alla prima, la quale è visibile se nell'aria della camera v'è del polviscolo in sospensione. Si chiama *angolo d'incidenza* quello che il raggio incidente fa colla normale al punto d'incidenza, e *angolo di riflessione* quello che il raggio riflesso fa colla medesima normale. Il raggio incidente fa un angolo più o meno grande col

raggio riflesso a seconda della inclinazione dello specchio. Questo angolo divien nullo, e il raggio riflesso si confonde col raggio incidente se il piano dello specchio è perpendicolare al raggio incidente. Il piano formato dall'angolo d'incidenza dicesi *piano d'incidenza.* Quello formato dall'angolo di riflessione dicesi *piano di riflessione.*

Il raggio incidente ed il raggio riflesso sono situati in uno stesso piano normale alla superficie riflettente al punto di riflessione, e l'angolo di riflessione è eguale all'angolo d'incidenza.

Questa legge si può dimostrare sperimentalmente col seguente apparato. Consiste in un cerchio di legno *A B D* situato sopra un piede *P* (*Tav.* VI, *Fig.* 142). Sul diametro *A B* son fissate normalmente due piccole verghe scanalate *m*, *n*, nelle quali si può introdurre una superficie metallica ben levigata splendente, il cui mezzo corrisponde al centro *C* del cerchio graduato *A B D.* Si porta questo apparato nella camera oscura e s'introduce in essa il raggio luminoso *p C*, che si fa cadere sul mezzo della superficie metallica: nell'oscurità della camera si vede ch'esso vien riflesso nella direzione *C q*, facendo l'angolo d'incidenza *p C D* eguale a quello di riflessione *q C D*, e che i due raggi e la normale *C D* alla superficie riflettente si trovano nello stesso piano.

La riflessione regolare della luce si fa con tale esattezza secondo la legge dimostrata dell'angolo d'incidenza eguale all'angolo di riflessione, che si è impiegata nella misura degli angoli diedri dei corpi levigati, e specialmente dei cristalli che presentano le diverse specie minerali.

Gl'istrumenti impiegati a quest'uopo hanno ricevuto il nome di *goniometri a riflessione.*

Per bene intendere il principio su cui sono fondati questi istrumenti, consideriamo un prisma o un poliedro qualunque *a b c*, di cui si vuol misurare l'angolo diedro *a b c* fatto dalle due facce *a b*, *b c* (*Tav.* V, *Fig.* 143). Supponiamo che il prisma venga disposto in modo che la linea d'intersezione delle due superficie *a b*, *b c* formanti l'angolo diedro sia orizzontale, e che applicando l'occhio ad un foro fisso *O* si veda sulla faccia *a b* per riflessione un punto fisso *S*, talchè sià l'angolo d'incidenza *S e b* eguale all'angolo di riflessione *O e a.*

Fatto ciò, si giri il prisma sopra un asse parallelo all'intersezione delle due faccie *a b*, *b c* in modo che sull'altra superficie dell'angolo diedro si veda per riflessione il punto fisso *S* colla stessa situazione dell'occhio; l'angolo di cui si è dovuto far ruotare il prisma per condurlo in questa seconda posizione è il supplemento dell'angolo *a b c* che si vuole misurare. Infatti affinchè la superficie *b c* prenda la posizione della superficie *a b*, bisogna che il prisma ruoti dall'angolo $c\,b\,d + 90°$, che è appunto il supplemento di *a b c*.

Su questo principio è fondato il goniometro a riflessione di Wollaston, che è il più semplice ed il più usitato per misurare gli angoli diedri dei cristalli.

Esso componesi di un cerchio di ottone graduato sul suo orlo (*Tav.* V, *Fig.* 144) e mobile intorno ad un asse orizzontale *A A*, il quale è portato dal sostegno verticale *P C P*. Quest'asse riceve a sfregamento dentro di sè un'altr'asse concentrico *a a* che da un'estremità è alquanto sporgente, e porta un pezzo incurvato *a d b*, cui è applicato in una cavità un cilindretto girevole disposto sul prolungamento dell'asse *a a*, e munito di due pezzi rettangolari sui quali si assicura con cera molle il cristallo delle cui facce si vuol misurare l'angolo diedro. Unito al piede *P P* v'ha una verghetta incurvata che sostiene un disco nero con un foro nel centro, dove applicato l'occhio si vede il cristallo collocato sul pezzo rettangolare. Per fare uso dell'istrumento bisogna scegliere qualche edifizio che presenti alcune linee orizzontali parallele fra loro. Allora si colloca colla sua base sopra un piano orizzontale, in modo che il cerchio essendo verticale, riesca perpendicolare o quasi perpendicolare alle linee mentovate che devono servire di mira. Applicando l'occhio vicino al cristallo si gira l'asse interno, finchè una delle linee superiori dell'edifizio sia veduta per riflessione sopra una delle faccie del cristallo, e col mezzo del cilindretto mobile si fa girare il cristallo in modo che l'immagine riflessa coincida con una delle linee veduta direttamente. Si fa prova della stessa coincidenza sull'altra faccia di cui si vuol misurare l'angolo diedro colla prima, ed allorquando questa coincidenza si può ottenere successivamente sulle due faccie senza cangiare posto all'occhio, si è certi che l'inter-

sezione delle due faccie è orizzontale e parallela all'asse di rotazione. Ottenuta questa condizione si fa girare l'asse in modo che coll'occhio applicato al foro del disco si veda per riflessione una di quelle linee, e partendo da questa posizione si gira il cerchio graduato sinchè non si vede la stessa linea per riflessione sull'altra faccia del cristallo. L'arco descritto dal cerchio in questo rivolgimento è misurato dalla divisione segnata sulla periferia del cerchio, ed è eguale al supplemento dell'angolo diedro delle due faccie. Anzi per risparmiare una sottrazione, l'istrumento è graduato in maniera che si legge immediatamente sul cerchio l'angolo diedro del cristallo.

Riflessione sugli specchi piani. Chiamansi *specchi* tutti i corpi che riflettono regolarmente la luce e ci rappresentano l'immagine degli oggetti. Essi sono fatti generalmente di metallo o di vetro, e la loro superficie dev'esser levigatissima. Gli specchi comuni, quantunque consistano in lastre di vetro o di cristallo sono propriamente specchi metallici, perchè la superficie che per riflessione produce l'immagine degli oggetti, è la foglia di stagnola amalgamata, di cui è ricoperta la lastra, non essendo in generale che pochissima la luce riflessa dalla superficie anteriore del cristallo, in confronto di quella riverberata dal metallo. Il cristallo in questi specchi ha l'ufficio di difendere il metallo dall'azione degli agenti esterni, per cui si ossiderebbe e perderebbe la sua lucentezza, ed inoltre serve a dare alla stagnola amalgamata una superficie bene unita e liscia, e quindi più atta alla riflessione. I migliori di questa specie sono quelli in cui la lastra di cristallo oltre esser ben liscia e regolare nella sua superficie, ha la minor grossezza possibile, affinchè l'immagine prodotta dalla riflessione della superficie anteriore della lastra medesima si confonda con quella ottenuta dalla riflessione del metallo. Infatti cogli specchi antichi che hanno la lastra molto grossa, osservando la fiamma di una candela sotto un piccolo angolo d'inclinazione, si vedono due immagini distinte, l'una prodotta dal cristallo, e l'altra un poco più distante generata dal metallo. Gli specchi metallici si formano principalmente di lega di stagno e rame: quelli per gli istrumenti ottici si compongono di 64 parti di rame e 29 di

stagno, oppure di 32 di rame, 15 di stagno ed una di arsenico.

Vediamo pertanto, come accade la riflessione sugli specchi piani. Si abbia un punto luminoso *R* situato dinanzi uno specchio *A B* (*Tav.* V, *Fig.* 145), il quale mandi dei raggi in tutte le direzioni. Fra questi raggi ve ne sono alcuni, come *R b*, *R A*, che incontrano lo specchio e sono dal medesimo riflessi secondo la legge da noi sopra enunciata, in guisa che l'angolo *l b B* è eguale all'angolo *R b A*, e l'angolo *p a B* all'angolo *R a A*. Ciò posto, se si conduce dal punto *R* la *R D* perpendicolare allo specchio, e si prolungano i raggi riflessi *l b*, *a p*, al di sotto dello specchio fino ad incontrare questa perpendicolare in un punto *R'*, si formano i triangoli *b D R'* ed *a D R'* respettivamente eguali ai triangoli *b D R* ed *a D R*, avendo essi un lato comune compreso fra due angoli eguali. Dall'eguaglianza di questi triangoli resulta che *R D* è eguale a *R' D*, vale a dire che il punto *R'* è egualmente distante di *R* dallo specchio. Vedesi adunque come i prolungamenti dei raggi riflessi da uno specchio piano s'incontrano tutti in un punto situato al di dietro dello specchio ad egual distanza dal punto luminoso, ond'è che i raggi riflessi dallo specchio sembrano tutti partiti da questo punto. Se sul cammino dei raggi riflessi trovasi l'occhio dell'osservatore, egli vedrà il punto luminoso in *R'*, avendo esso l'abitudine di trovare gli oggetti nella direzione dei raggi luminosi che riceve. *Dunque negli specchi piani l'immagine di un punto si produce dietro lo specchio ad una distanza eguale a quella del punto dato e sulla perpendicolare condotta da questo punto allo specchio.*

È perciò evidente, che si avrà l'immagine di un oggetto *F K*, di una data dimensione, conducendo da ciascun punto di questo oggetto una perpendicolare allo specchio, e prolungandola fuori dello specchio di una quantità eguale alla distanza dello stesso punto dallo specchio (*Tav.* V, *Fig.* 146). Resulta da questi principj, che le immagini degli oggetti veggonsi negli specchi piani dietro gli specchi medesimi situati alla distanza stessa dallo specchio degli oggetti stessi che le hanno prodotte, e come se lo specchio fosse un vetro traspa-

rente. L'immagine ha la stessa forma e la stessa grandezza dell'oggetto; soltanto è in posizione simmetrica col medesimo, ed è meno lucente perchè lo specchio estingue sempre una certa quantità di luce. La simmetria degli oggetti e delle immagini spiega come una spada, per esempio, che uno porta al fianco sinistro apparisca in uno specchio dal lato destro, e come gli alberi sembrino rovesciati quando si vedono per riflessione nell'acqua.

Se gli oggetti si avvicinano o si allontanano dallo specchio, l'immagine si avvicina o si allontana parimente, talchè il movimento dell'immagine rispetto all'oggetto è doppio. Lo stesso deve dirsi se lasciando fermo il corpo che produce l'immagine, si muove invece lo specchio allontanandolo dall'oggetto. È per questa ragione che un oggetto verticale posto dinanzi ad uno specchio inclinato a 45°, sembra orizzontale. Difatti l'immagine rispetto all'oggetto avrà preso un'inclinazione di 90°.

Allorchè un oggetto è posto fra due specchi paralleli, le due immagini che vi si formano producono altre due immagini, queste altre due, e così di seguito. Cotali immagini perdono successivamente d'intensità, e quindi quelle che appajono le più lontane rimangono appena visibili. Prendendo per oggetto un disco tinto sulle due facce con due colori diversi, si veggono le immagini alternativamente di un colore e dell'altro. Il fenomeno precedente si riproduce fra due specchi inclinati, con questa differenza, che il numero delle immagini visibili è allora dipendente dall'angolo degli specchi. Esaminiamo difatto il caso in cui gli specchi facciano un angolo retto (*Tav.* VI, *Fig.* 147). $M C$ rappresenta la sezione del primo, $M'C$ quella del secondo. Dal punto C della loro comune intersezione si descriva una circonferenza di cui $C M$ e $C M'$ sieno raggi. Un oggetto posto in a produce un'immagine in b per riflessione sopra $M C$, ed un'immagine in b' per riflessione sopra $M' C$: di più il raggio $a x$ il quale dopo essere stato riflesso in x dallo specchio $M' C$, subisce una seconda riflessione in y, sullo specchio $M C$, fornisce una terza immagine in d. Ne resulta che se si pone un occhio in A per ricevere nello stesso tempo i raggi diretti a quelli che hanno

provato una o due riflessioni, si vedranno quattro immagini del punto *a*, cioè l'immagine diretta in *a*, poi le immagini riflesse in *b*, *b'* e *d*. Studiando parimente le riflessioni che si producono sopra due specchi più o meno inclinati fra loro, si vedrebbe che per avere 5, 6., ... 20 immagini dello stesso punto converrebbe dare all'angolo degli specchi $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$.... $\frac{1}{20}$ di circonferenza.

Su questa proprietà degli specchi inclinati è formato il *caleidoscopio*, apparato che si compone di un tubo di cartone in cui trovansi due specchi inclinati fra di loro, di 45°. Collocando ad una estremità, fra due lastre di vetro, degli oggetti di forme e colori diversi, come frammenti di vetro, palline di corallo, laminette di semiloro ec., si vedono questi oggetti e le loro sette immagini in modo da presentare un insieme assai svariato e spesso aggradevole.

Riflessione sulle superficie curve. Se la superficie del corpo su cui la luce si riflette, invece di essere piana fosse curva, la riflessione si farebbe come sopra il piano tangente al punto d'incidenza. Un raggio di luce *H A* cada sul punto *A* di una superficie curva qualunque *D A E* o *F A G* (*Tav.* VI, *Fig.* 148): la sua riflessione accadrà precisamente come se fosse caduto sulla superficie piana *B A C* tangente al punto d'incidenza; cioè a dire che se s' immagina inalzata dal punto d'incidenza una perpendicolare sul piano *B A C*, il raggio riflesso *K A* passerà sul piano contenente questa perpendicolare ed il raggio incidente, e, di più, l'angolo d'incidenza *H A I*, sarà eguale all'angolo di riflessione *K A I*.

Riflessione sugli specchi sferici. Le callotte di una sfera vuota, a superficie levigatissime, supposta divisa da un piano, costituiscono degli specchi sferici, che sono concavi o convessi, secondo che si prende in considerazione la loro superficie interna ovvero l'esterna. L'apertura dello specchio è l'angolo dei due raggi *C m* e *C m'* condotti ai margini opposti della callotta (*Tav.* VI, *Fig.* 149); il suo diametro é la linea *m m'*, che congiunge i due margini opposti della callotta; il suo asse è la linea *O C* condotta dal centro *O* della callotta al centro *C* della sfera. Il punto *a* chiamasi anche *centro di figura dello specchio*, il punto *C centro di curvatura*, e il punto *O*

centro ottico. Esaminiamo successivamente come ha luogo la riflessione sugli specchi concavi, e sugli specchi convessi.

Riflessione sugli specchi concavi. Sieno *h M*, *a c* due raggi incidenti paralleli, i quali cadano sullo specchio concavo *U M P* (*Tav.* VI, *Fig.* 150). Conducendo le tangenti *t M s*, *o c y* ai punti d' incidenza, e dal punto *c* la secante *n z* parallela a *t s*, osserveremo che se l' incidenza del raggio *a c* si facesse sulla secante *n z*; *M g* essendo il raggio riflesso appartenente al raggio incidente *h M*, la linea *c k* parallela a *M g* sarebbe il raggio riflesso del raggio incidente *a c*. Se ora si considera l' incidenza del raggio *a c* sulla tangente *o y*, è evidente che si avrà l'angolo *k c y* più piccolo dell'angolo d' incidenza *a c o*. Dunque per dare a *c k* la posizione che conviene alla riflessione sopra *o y*, bisogna aumentare l'angolo *k c y*, e conseguentemente il raggio riflesso, quale si è *c b*, convergerà con *M g* e lo taglierà.

Supponiamo che *a c* restando fisso all'estremità *c*, s'allontani dal raggio *M h* colla sua estremità *a*, nel qual caso i raggi incidenti convergeranno: l'angolo d' incidenza *a c o* essendo aumentato, bisognerà che l'angolo di riflessione *b c y* aumenti anch'esso, onde segue che i raggi riflessi convergeranno maggiormente dei raggi incidenti, poichè questi sono partiti dal parallellismo, ove la convergenza era nulla, mentre che *c b* convergeva già con *M g*. Se invece *a c* si avvicina ad *h M* colla sua estremità *a*, nel qual caso i raggi incidenti divergeranno, allora l'angolo d' incidenza *a c o* trovandosi diminuito, l'angolo di riflessione *b c y* diminuirà anch'esso; onde avviene che i raggi riflessi *M g*, *c b* convergeranno sempre meno, a misura che *a c* s'inclinerà sopra *h M*, di modo che ad un certo punto *M g* e *c b* diverranno paralleli, e al di là di questo punto saranno essi stessi divergenti, benchè in minor grado dei raggi incidenti che sono partiti dal parallelismo. Quanto abbiamo esposto contiene lo sviluppo e la prova dei seguenti principj: *la riflessione sulle superficie concave sferiche rende convergenti i raggi che erano paralleli prima della loro incidenza, aumenta la convergenza di quelli che già convergevano, ed in quanto ai raggi divergenti, può, a seconda delle circostanze, renderli convergenti, paralleli, ed anche divergenti, benchè sempre in minor grado dei raggi incidenti.*

Consideriamo adesso la riflessione di due raggi incidenti *n s*, *r p* (*Tav.* VI, *Fig.* 151) paralleli fra loro ed all'asse dello specchio e situati ad egual distanza da questo; avendo condotto un raggio *C s* al punto d' incidenza del raggio *n s*, noi avremo l'angolo *C s n*, eguale all'angolo *C s m*, poichè questi angoli sono i complementi degli angoli d' incidenza e di riflessione *n s y* e *m s t*; inoltre a motivo di *n s* parallela a *C A* l'angolo *C s n* è eguale a *s C m*, dunque il triangolo *C m s* è isoscele, per cui *m s* è uguale a *C m*, e poichè *m s* è maggiore di *m A*, si avrà ancora *C m* maggiore di *m A*, dunque i raggi paralleli *n s*, *r p* si rifletteranno sempre in un punto situato al di sotto della metà superiore *C f* del raggio *C A*. Ora se si suppone che i raggi *n s*, *r p* si avvicinino per gradi eguali al raggio della sfera, il punto *m*, in cui si fa la riflessione, si avvicinerà pure al punto *f*, dimodochè quando non saranno che ad una distanza infinitamente piccola di *C A*, il punto in cui si rifletteranno si confonderà semplicemente col punto *f*. D'altronde, se s' immaginano differenti raggi incidenti *n s*, *d b*, *k i* ec. ec. (*Tav.* VI, *Fig.* 152) tutti paralleli all'asse ed egualmente distanti gli uni dagli altri, gli angoli d' incidenza di quelli che sono sensibilmente distanti dall'asse, differiranno molto più fra loro a misura che se ne allontaneranno, di quelli dei raggi vicini allo stesso asse, perchè le inclinazioni dei piccoli archi sui quali cadono i primi raggi vanno rapidamente crescendo, mentre che in vicinanza dell'asse, gli archi poco si allontanano dalla direzione perpendicolare relativamente ai raggi che loro corrispondono. Segue da ciò che in un fascio di raggi che cadono parallelamente al raggio della sfera sulla curvatura *O A G*, tutti quelli che sono poco distanti dall'asse concorrono dopo la loro riflessione sopra un piccolissimo spazio situato presso a poco al mezzo *f* del raggio della sfera. Si considera questo piccolo spazio come un punto che chiamasi *fuoco dei raggi paralleli* o *fuoco principale*. Adunque, allorquando uno specchio sferico ha una piccola apertura la quale non superi gli 8 o i 10 gradi, il fuoco dei raggi paralleli è posto sulla metà del raggio di curvatura, mentre che quando lo specchio sferico ha una apertura più

grande, la riunione dei raggi riflessi non occupa uno spazio così piccolo da poter esser considerato come un punto.

La formazione del fuoco dei raggi luminosi paralleli può mostrarsi sperimentalmente, dirigendo verso il sole l'asse di uno specchio concavo. I raggi solari riescono paralleli all'asse e riflettendosi sullo specchio vengono ad intersecarsi e a concentrarsi in un punto, dove generano non solo una piccolissima e vivissima immagine del sole, ma ben anco un tal concentramento di calore, da abbruciare ed infiammare dei corpi combustibili come l'esca, la carta, il legno ec. Su questa proprietà, è fondata la costruzione degli *specchi ustorj* o *ardenti*, impiegati a produrre la combustione per mezzo del calor solare. Dopo ciò che abbiamo detto degli specchi concavi, è chiaro che aumentando le dimensioni dello specchio non se ne aumenterebbe proporzionalmente l'effetto. Gli specchi ustorj si formano di differenti sostanze. I migliori sono quelli di vetro stagnato; ed il Bernière, che ha immaginato un metodo per curvare il vetro a tale uso ne costruì uno di metri 1,056 di diametro, il quale era capace di fondere il ferro. Kirker ha immaginato di sostituire ad uno specchio curvo, una riunione di specchi piani disposti in modo da determinare la riunione dei fasci luminosi in uno stesso punto. Il Buffon fece costruire uno specchio poligono composto di 168 specchi suscettibili di muoversi in tutti i sensi, di modo che essendo padrone di variare la mutua loro inclinazione poteva portarne il fuoco a differenti distanze. Questo specchio bruciava il legno a 100 piedi, e fondeva il piombo ed il rame a 45 piedi. Queste esperienze del Buffon rendono meno improbabile ciò che le storie ci narrano dell'incendio operato da Archimede delle navi di Marcello all'assedio di Siracusa.

Esaminiamo adesso le circostanze della riflessione dei raggi luminosi divergenti che partono da un punto luminoso *A*, situato sopra un punto qualunque dell'asse dello specchio concavo *M N*. Sieno questi raggi *A M*, *A N* (*Tav.* VI, *Fig.* 153); essi saranno riflessi nelle direzioni *M f*, *N f* ec., essendo gli angoli di riflessione *C M f*, *C N f* eguali agli angoli d'incidenza *A M C*, *A N C*. Si vede che in questo caso, la distanza focale *f D* è maggiore della distanza focale *F D* dei

raggi paralleli. Se noi avviciniamo col pensiero il punto luminoso *A* al centro *C* dello specchio, i raggi incidenti *A M*, *A N* si ravvicineranno sempre maggiormente alle perpendicolari *C M*, *C N*, onde avverrà lo stesso ai raggi riflessi, i quali perciò convergeranno più da vicino al centro *C* dello specchio. In fine se noi supponiamo il punto luminoso *A* situato al centro della sfera *C*, il fuoco si troverà pure situato allo stesso punto. In altri termini, allorquando dei raggi divergenti partono dal centro d'uno specchio concavo, sono tutti riflessi in quello stesso punto.

Se i raggi partono da un punto luminoso posto fra il punto *C* ed il fuoco principale *F*, essi convergeranno dopo la riflessione e si riuniranno in un fuoco situato al di là del centro dello specchio. Supponiamo che partano p. es. dal punto *f*, essi si riuniranno dopo la riflessione al punto *A*. I punti *A* ed *f* riguardati sotto questo punto di vista, hanno ricevuto il nome di *fuochi coniugati*, poichè se l'uno di questi punti rappresenta il punto luminoso; l'altro diviene necessariamente il fuoco.

Se i raggi partono da un punto luminoso *f'* situato più vicino allo specchio che il fuoco principale *F* (*Tav.* VI, *Fig.* 154) essi divergeranno dopo la riflessione, e seguiranno le direzioni *M A*, *N A*. Sembreranno quindi partiti dal punto *A'* situato dietro lo specchio. Questo punto nel quale i raggi s'incontrerebbero, se potessero essere prolungati indietro, è chiamato *fuoco virtuale* o *immaginario*.

Infine, se il punto luminoso è posto al fuoco principale *F* (*Tav.* VI, *Fig.* 155) i raggi incidenti saranno riflessi parallelamente. In questo caso il fuoco è ad una distanza infinita, poichè i raggi riflessi non potranno mai incontrarsi. È per questa ragione che gli specchi concavi sono anche adoprati a diffondere a grandi distanze la luce proveniente da un corpo luminoso. La luce riflessa da uno di questi specchi, proveniente da una sorgente situata al suo fuoco, essendo i suoi raggi paralleli fra loro, conserva sempre un'eguale intensità se non viene indebolita dall'assorbimento cui può andar soggetta per cagione del mezzo che attraversa. Uno specchio concavo destinato a tale uso dicesi *specchio collettore*.

Se un punto luminoso *A'* fosse situato in un modo qualunque fuori dell'asse dello specchio (*Tav.* VI, *Fig.* 153) *M N*, la riflessione dei suoi raggi si farebbe nella stessa guisa dei casi precedenti. Solamente conviene allora condurre per questo punto e pel centro di curvatura *C* una linea *A' C B*, la quale chiamasi *diametro* o *asse secondario*, ed è rapporto a quest'asse che si produrranno i fenomeni sopra descritti, cioè a dire che i punti *A'* ed *F'* saranno situati su di esso come i punti *A* ed *f* sull'asse principale.

In tutte le applicazioni pratiche dei casi osservati, il fuoco d'uno specchio concavo può esser determinato colla regola seguente, supponendo conosciuti il raggio dello specchio e la sua distanza dal punto luminoso. Basta moltiplicare la distanza del punto luminoso dallo specchio pel raggio di questo, e dividere questo prodotto per la differenza fra due volte la distanza del punto luminoso ed il raggio dello specchio: il quoziente rappresenta la distanza focale. Non bisogna dimenticare nell'applicazione di questa regola che se il doppio della distanza del punto luminoso allo specchio è minore del raggio, il fuoco si troverà situato dietro lo specchio, e non sarà che un fuoco immaginario.

Formazione delle immagini sugli specchi concavi. Sia *M N* uno specchio concavo (*Tav.* VI, *Fig.* 156) il cui centro sia in *C*. Sia *A B* un oggetto posto a qualche distanza al di là del centro di questo specchio. Per trovare l'immagine dell'oggetto *A B* ci convien cercare i fuochi di ciascuno dei punti di cui è composto. Cerchiamo prima i fuochi dei punti estremi *A* e *B*. Noi sappiamo che il fuoco del punto *A* si troverà situato sull'asse secondario *A N*, che passa per questo punto e pel centro dello specchio, allora tracciando dal punto *A* un raggio incidente qualunque *A E*, si conduce al punto d'incidenza la normale *C E* e si costruisce l'angolo di riflessione *C E a* eguale all'angolo d'incidenza *A E C*. Il punto *a* ove il raggio riflesso taglia l'asse secondario *A N* è il fuoco coniugato del punto *A*, imperocchè qualunque altro raggio partito da questo punto va a concorrere in *a*. Parimente il fuoco del punto *B* sarà situato in *b*, sull'asse secondario corrispondente *B M*, ed il fuoco del punto *D* si troverà sull'asse

principale in *d*. Dunque i fuochi di tutti i punti intermedj compresi fra *A* e *B*, o in altro termine l'immagine dell'oggetto *A B* sarà compresa fra i due punti estremi *a* e *b*.

La sola ispezione della figura basta a dimostrare che nel caso da noi esaminato, l'immagine è reale, rovesciata e più piccola dell'oggetto. Inoltre è chiaro, dopo ciò che dicemmo intorno alla posizione dei fuochi, che essa è posta fra il centro di curvatura ed il fuoco principale. Se si vorrà ottenere un'immagine più grande dell'oggetto, basterà porre l'oggetto in *a b*, tra il fuoco principale ed il centro dello specchio e si vedrà un'immagine ingrandita in *A B*. Se si pone l'oggetto nel fuoco principale non si avrà alcuna immagine, perchè allora i raggi emessi da ciascun punto, formano dopo la riflessione altrettanti raggi paralleli all'asse secondario condotto dal punto da cui sono emessi, e quindi non possono produrre nè fuochi nè immagini. Se lo specchio concavo è molto grande e l'oggetto *A B* molto lucente, come una piccola statua di gesso fortemente illuminata, l'immagine *a b*, apparirà sospesa nell'aria, e si potrà fare una serie di esperienze interessanti variando la distanza dell'oggetto, ed osservando i cambiamenti corrispondenti nella grandezza e posizione dell'immagine.

Se poi l'oggetto *A B* è collocato tra il fuoco principale e lo specchio (*Tav.* VI, *Fig.* 157), siccome i raggi *A D*, *A K* dopo la riflessione prendono le direzioni *D T* e *K H*, i loro prolungamenti vanno a formare in *a* un'immagine virtuale del punto *A*. Parimente l'immagine di *B* si forma in *b*, e l'occhio vede in *a b* l'immagine di *A B*. Questa immagine è necessariamente virtuale, diritta, più grande dell'oggetto, ed ingrandisce a misura che questo si avvicina allo specchio. Sulla formazione delle immagini virtuali al di dietro degli specchi concavi, è fondata la costruzione di quegli specchi di cui si fa uso nel radersi la barba, e che molto ingrandiscono gli oggetti che vi si collocano da presso.

Riflessione sugli specchi convessi. La riflessione della luce sugli specchi convessi accade in senso inverso che sugli specchi concavi. Prolungando dietro la superficie concava i raggi incidenti e i raggi riflessi relativi a questa superficie, si avrà la ripetizione degli stessi angoli d'incidenza e di riflessione

relativamente alla superficie convessa su delle tangenti comuni; con questa differenza, che i raggi che erano considerati come convergenti nel primo caso, saranno divergenti nel secondo, e reciprocamente. Per esempio, se si prolungano dietro la superficie $U\ C'Z$ i raggi $h\ m$, $a\ C$, $g\ m$, $b\ c$, i raggi incidenti relativi alla convessità della superficie saranno $h'\ m$, $a'\ C$, paralleli fra loro come i primi, e i raggi riflessi saranno $m\ g'$, $C\ b'$, che divergeranno fra loro. Dopo ciò i principj relativi alla riflessione sugli specchi convessi deduconsi da quelli che hanno rapporto alla riflessione sulle superficie concave, con una semplice inversione di termini, dimodochè dovranno essere enunciati nel modo seguente. *La riflessione sulle superficie convesse rende divergenti i raggi che erano paralleli prima della loro incidenza; aumenta la divergenza di quelli che già erano divergenti, e relativamente ai convergenti, può secondo le circostanze, renderli divergenti o paralleli, od anche convergenti; ma in minor grado dei raggi incidenti.*

Nello stesso modo, la riflessione dei raggi paralleli fra loro, ed all'asse dello specchio, si farà in guisa, che se si prolungano i raggi riflessi al di sotto della convessità, anderanno a riunirsi in un punto situato fra il mezzo del raggio della sfera ed il punto in cui questo raggio taglia la superficie riflettente, ed applicando qui il ragionamento che abbiamo fatto relativamente alla riflessione sopra una superficie concava, se ne concluderà che in un fascio di raggi che cadono sopra una superficie convessa paralleli fra loro ed all'asse, quelli che sono vicini a quest'asse tenderanno a riunirsi in un fuoco immaginario, situato presso a poco alla metà del raggio della sfera, e che è il *fuoco principale virtuale* degli specchi convessi. Quindi è che allorquando si presenta al sole uno specchio convesso, non si forma innanzi alla sua superficie veruna concentrazione nè di luce, nè di calore; anzi si scorge distintamente che nella sua riflessione la luce si è molto indebolita, ed all'occhio situato dinanzi allo specchio sembra che provenga da un piccolo punto luminoso posto di dietro, che è appunto l'immagine del sole situata nel fuoco virtuale dello specchio.

Se i raggi luminosi incidenti, invece di essere paralleli all'asse, partono da un punto situato sull'asse stesso ad una

distanza finita, si scorge facilmente che il loro fuoco è pure virtuale, ma che si forma tra il fuoco principale e lo specchio.

Formazione delle immagini negli specchi convessi. Sia *A B* un oggetto collocato dinanzi ad uno specchio convesso, ad una distanza qualunque (*Tav.* VI, *Fig.* 158). Conducendo gli assi secondarj *A C* e *B C*, è chiaro, dopo quanto abbiamo detto sulla riflessione sugli specchi convessi, che tutti i raggi emessi dal punto *A* divergeranno maggiormente dopo la riflessione e formare un fuoco virtuale in *a*, e quindi l' immagine virtuale del punto *A*. Lo stesso è a dirsi dei raggi emessi dal punto che anderanno a *B*, i quali anderanno a produrre in *b* un'immagine virtuale di questo punto. Quindi l'occhio che riceve i raggi divergenti *D E*, *K H* vede in *a b* un' immagine di *A B*. Da questa costruzione resulta che l' immagine di un oggetto situato dinanzi ad uno specchio convesso è sempre virtuale; più piccola del vero, dritta, e sembra avvicinarsi allo specchio a misura che l'oggetto se ne allontana.

L' immagine piccola e diritta di noi stessi che vediamo negli occhi altrui deriva da ciò, che la cornea agisce a guisa di uno specchio convesso.

Aberrazione di sfericità per riflessione. Nella teoria che abbiamo esposta intorno alla formazione dei fuochi e delle immagini negli specchi sferici, abbiamo già notato che i raggi riflessi vanno sensibilmente a concorrere verso un unico punto sol quando l'apertura dello specchio non sorpassi 8° o 10°. Per un'apertura più grande, i raggi riflessi in vicinanza dei lembi incontrano l'asse a minor distanza dallo specchio di quelli che sono riflessi presso al centro di figura. Perciò invece di un sol fuoco se ne ha una serie per ogni punto lucido, e quindi si genera una moltitudine d' immagini degli oggetti che si vogliono guardare con siffatti specchi, le quali sovrapponendosi impediscono all'occhio di vederne una distintamente; e questa confusione dicesi *aberrazione di sfericità per riflessione*, onde distinguerla dalla aberrazione di sfericità per refrazione che presentano le lenti. Siccome i raggi riflessi si tagliano successivamente a due a due, come vedesi al disopra dell'asse *F L* (*Tav.* VI, *Fig.* 159), così i loro punti d'intersezione formano nello spazio una superficie brillante che si chiama *cau-*

stica per riflessione. La curva *F M* rappresenta uno dei rami della sezione meridiana di questa superficie.

Specchi di curvatura diversa dalla sferica. Possono gli specchi avere curvature diverse dalla sferica e le apparenze delle immagini che vi si formano variano più o meno secondo la natura delle curve. Supponiamo per esempio uno specchio cilindrico convesso. È chiaro che questo dovrà far vedere le immagini impiccolite secondo il suo diametro, ed inalterate secondo la sua lunghezza; ossia questo specchio essendo convesso per un verso e piano per un altro, darà le immagini impiccolite solo nel verso del diametro o solo nel verso delle altezze. Si ha l'arte di disegnare delle figure deformi, le quali guardate in uno specchio cilindrico o conico compariscono regolari, nel modo che abbiamo rappresentato nella *Fig.* 160, *Tav.* VI. Lo specchio ha conservato all'immagine la sua vera grandezza nel verso dell'altezza, ma l'ha molto rimpiccolita nel verso della larghezza, talchè essa rappresenta una figura regolare. A questo genere di esperienze si dà il nome di *anamorfosi.* Con questi principj s'intende facilmente la ragione di molte apparenze ottiche assai comuni; così per esempio la deformazione che subisce la nostra immagine quando ci guardiamo in una boccia piena di liquido, proviene dal rappresentare questa uno specchio cilindrico; e quei riflessi di luce che si scorgono sulle campane di vetro, sulle armi forbite ec., altro non sono che immagini più o meno contraffatte del sole, delle finestre ec., provenienti dalle svariate curvature di quelle superficie.

3.° *Diottrica o della refrazione della luce.*

Quando la luce giunge alla superficie di separazione di due mezzi diafani, una porzione si riflette nel mezzo da essa percorso, un'altra penetra nel secondo mezzo, ma prova una deviazione. Questa deviazione dicesi *refrazione*, e la luce così deviata dicesi *refratta.*

La condizione essenziale perchè la luce venga refratta nel suo passaggio da un dato mezzo in un altro, si è che la sua direzione sia obliqua al piano che separa i due mezzi.

La refrazione di un raggio di luce può accadere in due circostanze diverse che prenderemo successivamente in considerazione. 1.° Quando la luce passa da un mezzo meno refrangente in uno più refrangente, come dall'aria nell'acqua o nel vetro. 2.° Quando passa da un mezzo più refrangente in uno meno refrangente, come per esempio dall'acqua o dal vetro nell'aria.

Primo caso. *Ogni qualvolta un raggio di luce passa da un mezzo in un altro più refrangente, esso è deviato dalla sua primitiva direzione e si avvicina alla perpendicolare abbassata al punto d'incidenza, sulla superficie di separazione dei due mezzi.* Sia *A B* (*Tàv.* VI, *Fig.* 161) la linea di separazione dei due mezzi trasparenti che supporremo per esempio essere l'aria e l'acqua; *S C* sia un fascio luminoso ed *E F* la normale alla superficie dell'acqua. La luce entrando nell'acqua, invece di progredire da *S C* in *x* pel cammino rettilineo *S C x*, piega e prende la direzione *C R*, secondo la quale si propaga finchè non esce da questo mezzo. Questo piegamento è appunto la refrazione del raggio incidente *S C*; *C R* è il *raggio refratto*, *S C E* *l'angolo d'incidenza*, *R C F l'angolo di refrazione*, *C x il raggio diretto*, *R C x l'angolo refratto o la deviazione.* Inoltre *A C S è il piano d'incidenza*, e *B C R quello di refrazione.* Colla ispezione della figura si vede che nel caso contemplato il raggio refratto, si avvicina alla perpendicolare abbassata al punto d'incidenza sulla superficie di separazione dei due mezzi, quindi che l'angolo d'incidenza è necessariamente più grande dell'angolo di refrazione.

Secondo caso. *Ogni qual volta un raggio passa da un mezzo in un altro mezzo meno refrangente, è deviato dalla sua direzione primitiva, e si allontana dalla perpendicolare abbassata al punto d'incidenza sulla superficie di separazione.* Supponiamo che il raggio *A B* (*Tav.* VI, *Fig.* 162) passi dal vetro *V* nell'aria *L*; questo raggio invece di seguire la sua primitiva direzione *B S*, sarà deviato nella direzione *B H*, allontanandosi dalla perpendicolare *B E.* In questo caso l'angolo d'incidenza *A B F* è sempre più piccolo dell'angolo di refrazione *E B H.*

È facile verificare per mezzo della esperienza il fenomeno della refrazione. Se si colloca un occhio in *O* (*Tav.* VI, *Fig.* 163)

di fianco ad un vaso vuoto *A B M N*, non si vede che la parte *A P* del suo fondo, essendo *P* il punto che manda all'occhio il fascio luminoso *O M* tangente all'orlo opaco del vaso, e che fa coll'orizzonte l'angolo maggiore. Ma empiendo d'acqua il vaso e tenendo l'occhio sempre allo stesso punto, si vede una parte del fondo sempre più estesa; sembra che il punto *P* s'alzi verticalmente in *p*, ed un altro punto *P'* è quello che vedesi in *p'* nella direzione limite *O M*. Perciò se fra *P* e *P'* si sarà collocato un oggetto lucente, come per esempio una moneta, questa mentre non era visibile all'occhio situato in *O*, allorquando il vaso era vuoto, diverrà visibilissima tosto che il vaso sarà empito di acqua. Dunque il fascio luminoso che va da *P* all'occhio ha provato una deviazione tale che sembra emanare da *p*, punto elevato di *P* nel medesimo piano verticale condotto per *O M*. Questa deviazione non può aver luogo che in *I* alla superficie stessa del liquido, poichè la luce si propaga in linea retta finchè non cangia il mezzo per cui passa. La luce venuta in *I* dal punto *P* situato nell'acqua s'inclina adunque seguendo la direzione *I O* appena entra nell'aria, ma senza uscire dallo stesso piano verticale. Del pari la luce venuta in *M* dal punto *P'* si propaga prendendo la direzione *M O*, più di *P' M* inclinata all'orizzonte. Da questa esperienza si deduce facilmente che un fascio luminoso uscendo dall'acqua per entrare nell'aria cambia direzione accostandosi alla superficie di separazione dei due mezzi; ma in guisa che i raggi incidenti ed emergenti sieno nello stesso piano normale a questa superficie.

La stessa conclusione si deduce da quest'altro fatto, cioè che un bastone diritto *C D* (*Tav.* VI, *Fig.* 164) immerso in parte nell'acqua sembra spezzato in *K* alla superficie del liquido, imperocchè per l'occhio situato in *C*, l'estremità *D* sembra sollevata in *d*, nel piano verticale che passa per *C D*, d'onde segue che *I*, essendo il punto d'intersezione della retta *C d* col piano di livello *M N*, la luce che giunge in *I* da *D* s'inclina secondo *I C* nell'entrare che fa nell'aria.

Resulta da quanto precede relativamente alla refrazione dei raggi che sortono dall'acqua per entrare nell'aria, che quando osserviamo obliquamente gli oggetti posti nel fondo

dell'acqua, non li vediamo mai nella loro vera posizione, ma sempre più elevati, ed è a motivo di questa illusione ottica, la quale fa supporre che l'acqua sia meno profonda di quello che è realmente, che spesso sono accaduti degli annegamenti.

La refrazione della luce c'impedisce di vedere i corpi celesti nella loro effettiva posizione, giacchè la luce che ci mandano è refratta nel suo passaggio nell'atmosfera. Noi vediamo adunque il sole e le stelle nella direzione del raggio refratto, nel modo indicato dalla figura 165 della Tavola VI. L'arco E' B' E' rappresenta il limite dell'atmosfera sopra una porzione E B E della terra: un raggio di luce che viene dal sole S cade sulla atmosfera obliquamente in A, ed è refratto in B; e poichè noi vediamo l'oggetto nella direzione del raggio refratto, uno spettatore posto in B vedrà l'immagine del sole in C, invece di vederla al suo posto effettivo S. Perciò noi vediamo tutti gli astri più elevati al di sopra dell'orizzonte di quello che lo sono realmente; quindi è che un astro situato all'orizzonte parrà al di sopra del medesimo, ed un altro situato al di sotto parrà sull'orizzonte, per cui ci sarà visibile, mentre sarebbe invisibile se i suoi raggi non fossero deviati. Da ciò deriva che noi vediamo il sole quando non è ancora sopra, o quando è già sotto all'orizzonte, ond'è che la refrazione dei raggi solari nel loro passaggio attraverso l'atmosfera, accresce la durata del giorno.

I fenomeni di deviazione di cui abbiamo fin qui parlato appartengono alla *refrazione semplice*, così chiamata per distinguerla dalla *refrazione doppia*, che è propria di certi corpi trasparenti, i quali dividono in due il raggio incidente. Di questa specie di refrazione parleremo in seguito. Per ora studieremo le leggi della refrazione semplice.

Leggi della refrazione semplice. Le leggi della refrazione semplice sono le seguenti:

1.° *il raggio incidente ed il raggio refratto sono nello stesso piano della normale condotta alla superficie di separazione dei mezzi al punto di concorso dei due raggi*;

2.° *il rapporto fra il seno dell'angolo d'incidenza e quello dell'angolo di refrazione è costante per gli stessi corpi, qualunque sia l'incidenza;*

3.° *se il raggio refratto retrocedesse dal mezzo più denso al meno denso, percorrerebbe esattamente la stessa strada che ha seguito nell'entrare.*

Il rapporto tra il seno dell'angolo d'incidenza, e quello dell'angolo di refrazione chiamasi *indice di refrazione.* L'indice di refrazione è assai diverso secondo i varj corpi. Se un raggio entra dall'aria nell'acqua, il rapporto o indice è $\frac{4}{3}$; il qual rapporto significa che sotto qualunque incidenza il seno dell'angolo d'incidenza sta al seno dell'angolo di refrazione come 4 : 3; se il raggio entra dall'aria nel vetro comune l'indice di refrazione è $\frac{3}{2}$. Questi rapporti sono costanti per ciascuna sostanza, qualunque sia l'incidenza. Raddoppiando, triplicando il valore del seno dell'angolo d'incidenza, si raddoppia e si triplica anche il valore del seno dell'angolo di refrazione.

Descartes, che è lo scopritore di questa legge, giunse a stabilirla adoprando un vaso emisferico di vetro ripieno di acqua. Faceva giungere un raggio solare nel centro; misurava per mezzo di un cerchio graduato l'angolo d'incidenza; poi misurava l'angolo di refrazione sul contorno del vaso per mezzo dello stesso cerchio graduato.

La legge di Descartes si esprime colla semplicissima formola $\frac{Sen\ I}{Sen\ R} = n$, in cui I è l'angolo d'incidenza che fa il raggio colla normale, ed R l'angolo di refrazione che fa il raggio refratto colla normale stessa.

Da questa formola si deduce ciò che deve accadere quando il raggio cade normalmente sul secondo mezzo. Il seno di un angolo zero è zero; e quindi in questo caso anche $Sen\ R$ ed R sono eguali a zero. In altri termini il raggio che cade normalmente non è deviato; e ciò può verificarsi facilmente coll'esperienza.

Se invece l'angolo d'incidenza è il massimo, ossia eguale a 90°, nel qual caso il raggio cade parallelamente alla superficie di separazione dei due mezzi, essendo $Sen\ 90° = 1$, si ha $\frac{1}{Sen\ R} = n$, da cui può dedursi che $Sen\ R = \frac{1}{n}$.

Il valore R dell'angolo di refrazione pei raggi che si presentano paralleli alla superficie, è ciò che dicesi *angolo limite;*

per l'acqua quest'angolo è = 48°, 35'. Si deduce da ciò una importante conseguenza. Poichè il raggio che va dall'acqua all'aria retrocede per la via che ha percorso nell'entrarvi, si intende facilmente che un raggio che dall'acqua entri nell'aria, facendo colla normale un angolo di 48°, 35', escirà parallelamente alla superficie di separazione dei due mezzi. Se l'angolo che fa il raggio nell'acqua colla normale è maggiore di 48°, 35', è chiaro che il raggio in questo caso non potrà più uscire: da ciò il nome di angolo limite a quello di 48°, 35'. Accadrà in questo caso che la luce si rifletterà nell'interno del liquido. Si avrà allora il fenomeno della *riflessione totale*: i raggi che non possono emergere dal mezzo che traversano, a motivo dell'eccesso della loro obliquità, si riflettono totalmente seguendo le leggi ordinarie della riflessione. Pel vetro l'angolo limite è stato trovato compreso fra 41°, 49' e 40°, 20'. Ora se si lavori un cilindro di vetro *a b c d* coll'estremità *a b* terminata in piano perpendicolare all'asse, e coll'opposta nel piano *c d* inclinato di circa 48° coll'asse medesimo, (*Tav.* VI, *Fig.* 166) rivolgendolo direttamente verso il sole, i raggi luminosi non passano attraverso di esso dall'estremità *a b* per quella opposta *c d*. Si può costruire un apparecchio apposito per meglio fare l'osservazione, applicando il cilindro in questione a sfregamento dentro il tubo di ottone *A B C D* per rivolgerlo verso il sole, come si farebbe di un canocchiale, senza che l'occhio posto al foro della parte *C D* del tubo sia abbagliato. I raggi solari, come *s r* entrano per la faccia *a b* del cilindro di vetro parallelamente all'asse, e giungono sull'opposta *c d*, facendo colla faccia stessa l'angolo di 48°, per cui l'incontrano sotto l'angolo d'incidenza di 42° che è il complemento di 48°. Ora l'angolo di 42° è maggiore dell'angolo limite sunnotato pel vetro, e quindi quei raggi non potranno penetrare per *c d* nell'aria, ma ne saranno riflessi nella direzione *r t*.

Refrazione in un mezzo refrangente terminato da due superficie parallele. I raggi di luce che traversano un mezzo refrangente terminato da due superficie parallele; come per es. una lastra di vetro, uno strato d'acqua contenuto in un recipiente le cui facce sono parallele, emergono parallelamente ai raggi incidenti. Difatti essi subiscono due refrazioni; l'una all'entrare

e l'altra all'uscire del mezzo refrangente; e poichè le due facce sono parallele, l'angolo che nell'uscire fanno colla faccia da cui emergono è eguale a quello d'incidenza. Sia per esempio *A A* una lastra di vetro (*Tav.* VI, *Fig.* 167) percossa sopra una delle sue superficie dal raggio *B C* incidente al punto *C*. Questo raggio si avvicina alla perpendicolare ed è refratto in *D*. Giunto al punto *D* rientra nell'aria ed è nuovamente refratto nella direzione *D E*, allontanandosi dalla perpendicolare quanto se ne era accostato nella prima deviazione. Resulta adunque che i raggi *B E* e *D C* debbono esser paralleli.

Questo non toglie però che gli oggetti osservati attraverso alle grosse lastre di vetro o alle masse d'acqua terminate da superficie parallele non sieno visti spostati e ravvicinati. Se però le lastre di vetro hanno una piccola grossezza si può dire che non alterino la posizione degli oggetti, poichè i due raggi paralleli *B C*, *D E* saranno tanto vicini che sembreranno presso a poco situati sulla stessa linea. Egli è per questo che la refrazione delle sottili lastre di vetro è presso a poco nulla.

Refrazione della luce attraverso i prismi. Un prisma in ottica, è un mezzo diafano terminato da due superficie piane, levigate ed inclinate fra loro. Il vertice del prisma è la linea che unisce le due facce; o che le unirebbe se fossero sufficentemente prolungate. La base del prisma è un piano qualunque opposto al vertice, sia che esista realmente, sia che si supponga soltanto la sua esistenza. L'angolo refrangente del prisma è quello formato dalle due facce inclinate. Una sezione principale è una sezione fatta da un piano perpendicolarmente allo spigolo che costituisce il vertice. Nella maggior parte delle esperienze s'impiegano dei prismi a tre facce rettangolari $a\,b'$, $a\,c'$ e $b\,c'$ (*Tav.* VI, *Fig.* 168). Quando la luce traversa le facce $a\,b'$ e $b\,c'$, lo spigolo $b\,b'$ è il vertice, e la faccia $a\,c'$ è la base; quando traversa $a\,c'$ e $b\,c'$, $c\,c$ è il vertice ed $a\,b'$ è la base. La sezione principale di un tal prisma è sempre un triangolo, e secondo che questo triangolo è rettangolo, equilatero, isoscele o scaleno si dice che il prisma è pure tale. Questi prismi sono generalmente montati sopra un piede di rame (*Tav.* VI, *Fig.* 169). Per mezzo dell'asta *t* si possono più o meno inalzare, e per mezzo del ginocchio *g* si

può dar loro tutte le posizioni che l'esperienze richiedono. Vediamo adesso come il prisma devia la luce.

Sia $l\,i$ un raggio luminoso che cade sopra la faccia $a\,s$ di un prisma triangolare di vetro o di un altro corpo trasparente qualunque, e supponiamo che si trovi in un piano perpendicolare alle due facce, cioè in una sezione principale del prisma (*Tav.* VI, *Fig.* 170). Il raggio $l\,i$ si refrange nel prisma avvicinandosi alla normale $n\,i$ che si suppone prolungata nel prisma stesso. Si presenta alla faccia $s\,a'$ per uscire, ed esce refrangendosi di nuovo allontanandosi cioè dalla normale $i'\,n'$ e prendendo la linea $i'\,e$. L'effetto del prisma è dunque di allontanare il raggio emergente dalla sommità del prisma, e poichè l'immagine refratta trovasi sul prolungamento di $i'\,e$ ne segue che gli oggetti veduti attraverso di un prisma sembrano più elevati, l'angolo che fa il raggio emergente coi raggi paralleli al raggio incidente si chiama la *deviazione* prodotta dal prisma. Se si suppone l'oggetto molto lontano, l'occhio posto nella direzione del raggio emergente potrà scorgere nello stesso tempo l'immagine diretta e l'immagine refratta. L'angolo che fanno tra loro queste due immagini forma la deviazione prodotta dal prisma. Questa deviazione crescerà crescendo l'angolo $a\,s\,a'$, o l'angolo refrangente del prisma; essa dipenderà ancora dall'angolo d'incidenza dei raggi o dall'indice di refrazione della sostanza che compone il prisma. Se l'angolo refrangente del prisma fosse doppio dell'angolo limite, è certo che non vi sarebbe raggio che uscisse dal prisma. Infatti i raggi che cadono parallelamente alla superficie $a\,s$ dovrebbero refrangersi, venendo a fare colla normale un angolo eguale all'angolo limite. Ora essendo l'angolo refrangente del prisma doppio di quest'angolo, l'angolo di refrazione $x\,i\,y$ sarebbe eguale all'angolo $i\,s\,x$, metà dell'angolo refrangente del prisma; e siccome gli angoli $x\,i\,y$ e $x\,i\,s$ formano insieme un angolo retto, è chiaro che anche gli angoli $x\,i\,s$ ed $i\,s\,x$ sommati insieme formeranno un angolo retto. Perciò l'angolo $i\,x\,s$ che il raggio refratto fa colla retta $s\,y$ che divide per metà l'angolo refrangente dal prisma sarà pure retto. Da ciò apparisce chiaramente che l'angolo $x\,i'\,y$ che il raggio refratto fa colla normale all'uscire del prisma

è eguale all'angolo limite. Non potrebbe perciò escirne quel raggio, o almeno sarebbe l'ultimo di quelli che possono escirne: tutti gli altri raggi incidenti più inclinati alla faccia *s a* devono presentarsi alla faccia *s a'* facendo un angolo più grande dell'angolo limite, e perciò soffrono la reflessione totale. Difatti quanto più il raggio *l i* incidente sulla faccia *s a* si accosta alla normale *n i* tanto più piccolo è l'angolo di refrazione *x i y*, e tanto maggiore addiviene l'angolo *x i' y* che il raggio refratto fa colla normale *i' y*. Perciò quest'angolo si fa sempre maggiore dell'angolo limite a misura che l'angolo *l i n* diminuisce.

Se l'angolo refrangente del prisma è eguale all'angolo limite, si dimostra in modo analogo che non potranno emergere se non quei raggi che cadono sulla faccia *s a* tra la perpendicolare e la base del prisma, e non quelli che cadono tra questa perpendicolare ed il vertice. Se infine l'angolo refrangente del prisma è minore dell'angolo limite, anche una porzione di questi ultimi raggi avrà le condizioni di emergenza. Siccome l'angolo limite del vetro è di 41°, 48', il doppio è minore di 90°; d'onde si deduce che non si possono vedere gli oggetti attraverso ad un prisma di vetro il cui angolo refrangente sia retto. Invece essendo di 48°, 35' l'angolo limite dell'acqua, la luce può ancora traversare l'angolo retto di un prisma cavo formato con tre lastre di vetro ed empito di acqua.

Deviazione minima. Quando si riceva un fascio di luce solare attraverso ad un'apertura *A* (*Tav.* VI, *Fig.* 171) praticata nell'imposta di una camera oscura, si osserva che il fascio va in linea retta da *A* in *C* a projettarsi sopra un diaframma lontano. Ma se tra l'apertura dell'imposta e il diaframma s'interpone un prisma verticale, il fascio è deviato verso la base del prisma e viene a projettarsi in *D* lungi da *C*. Allora facendo rotare il sostegno del prisma in modo che l'angolo d'incidenza decresca, si vede il disco luminoso *D* avvicinarsi al punto *C* sino ad una certa posizione *E* oltre la quale non si avanza; anzi se si continua a far girare il prisma nello stesso verso, si vede il disco retrocedere. V'ha dunque una deviazione *E B C* minore di tutte le altre; e perciò dicesi *deviazione minima.*

Si può anche fare l'esperienza guardando un oggetto l molto lontano attraverso di un prisma $a\ b\ c$ (*Tav.* VI, *Fig.* 172). La immagine refratta l' di quest'oggetto si vedrà deviata verso il vertice, e l'occhio potrà scorgere al tempo stesso direttamente l'oggetto e la sua immagine. Se allora si ruoterà il prisma intorno al suo asse per un verso, la immagine refratta l' si allontanerà continuamente dall'oggetto l fino a perdersi completamente di vista; ma se si ruoterà il prisma nel verso contrario questa immagine si avvicinerà all'oggetto, ossia l'angolo di deviamento O diminuirà; ma fino ad un certo punto, perocchè seguitando a far rotare il prisma essa nuovamente si allontana. Questo minimo angolo di deviamento costituisce la *deviazione minima.* Per mezzo del calcolo si dimostra che la deviazione minima avviene quando gli angoli d'incidenza e d'emergenza sono eguali.

Determinazione dell'indice di refrazione dei corpi L'indice di refrazione dei corpi si determina riducendoli in prismi e misurando il loro angolo refrangente e l'angolo della loro minima deviazione. La prima misura si ottiene con un goniometro; la seconda si ha nel modo seguente: si riceve sul prisma un raggio $L\ I$ (*Tav.* VI, *Fig.* 173) emesso da un oggetto lontano, e si fa rotare il prisma in modo da ottenere la deviazione minima $E\ D$. Allora si misura col grafometro a canocchiale l'angolo $E\ D\ L'$ che fa il raggio refratto $D\ E$ col raggio $D\ L'$ che viene direttamente dall'oggetto. Quest'angolo non è altro che la deviazione minima, supposto che l'oggetto sia abbastanza lontano perchè i due raggi $L\ I$, e $L\ D$ riescano sensibilmente paralleli. Essendo g l'angolo refrangente del prisma e d quello del minimo deviamento, si trova col calcolo che l'angolo d'incidenza è eguale a $\frac{d+g}{2}$, e quello di rifrazione a $\frac{g}{2}$, onde nell'espressione generale $n = \frac{Sen\ I}{Sen\ R}$ sostituendo i suddetti valori, si avrà

$$n = \frac{Sen\ \left(\frac{g+d}{2}\right)}{Sen\ \frac{g}{2}}$$

che è l'indice di refrazione della materia del prisma.

Volendo determinare gl' indici di refrazione dei liquidi e dei gas si chiudono in prismi di lamine di vetro le quali abbiano le facce perfettamente parallele, e quando si esperimenta sopra i gas è mestieri che vi sia un manometro per poter tener conto della loro densità.

Ecco la tavola degl' indici di refrazione di diversi corpi, supponendo che la luce si refranga in essi venendo dal vuoto.

Sostanze	Indici	Sostanze	Indici
Diamante.	1,755	Alcool	1,374
Rubino	1,779	Albumina	1,360
Spato d' Islanda, refrazione ordinaria	1,6543	Etere	1,358
		Umore acqueo . . .	1,336
— refraz. straord. .	1,4833	— cristallino. . . .	1,384
Flint.	1,605	— vitreo	1,339
Quarzo, refr. ordin.	1,588	Acqua	1,335
— refr. straord. . .	1,548	Ghiaccio	1,310
Crown.	1,534	Aria.	1,0003

Quando si sanno gl' indici di refraziono di due corpi rispetto al vuoto, si può conoscere l'indice del secondo rispetto al primo, dividendo que' due indici tra loro.

Si è chiamata *potenza refrattiva* di un corpo il quadrato del suo indice di refrazione diminuito della unità (n^2-1), perocchè nell'ipotesi dell'emissione questa quantità denoterebbe l'aumento di velocità che riceve la luce passando dal vuoto nei corpi diafani, giacchè secondo questa maniera di considerare la luce, è forza supporre che essa corra più rapida ne'mezzi più refrattivi. Nella dottrina delle onde questa quantità ha tutt'altro significato, e dipende dalla varia densità dell'etere, giacchè secondo quest'altra teoria si tiene per fermo che la luce perde di velocità nei mezzi più refrattivi. La potenza refrattiva può essere valutata in modo assoluto ed in modo relativo; per esempio 1,326 e 0,785 sono le potenze refrattive assolute del vetro e dell'acqua, ossia i valori di n^2-1 corrispondenti a questi corpi; ma dividendo il primo numero pel secondo si avrebbe 1,690, che denota la potenza refrattiva del vetro rispetto a quella dell'acqua.

Il *potere refrangente* di un corpo è poi il quozientè che si ha dividendo la potenza refrattiva per la densità del medesimo. Anche questo si può prendere in un modo assoluto o in un modo relativo.

Quando un corpo si dilata o si condensa, sia per cagione meccanica, sia per cangiamento di temperatura, il suo indice di refrazione varia con la densità, ma pare che il potere refrangente rimanga lo stesso, purchè il corpo non passi allo stato aeriforme, perchè allora l'anzidetto potere scema sensibilmente.

Arago e Biot dalle loro esperienze ricavarono la seguente legge: *le potenze refrattive di un gas sono proporzionali alle densità per qualsiasi temperatura e pressione.*

Refrazione della luce nei mezzi terminati da superficie curve. Si può considerare una superficie curva come l'insieme di una infinità di piccoli piani diversamente inclinati fra loro. Allorquando un cono di luce cade sopra una porzione di una di queste superficie e che il corpo a cui questa appartiene è diafano, ogni raggio subisce dal piccolo piano che la riceve una refrazione sottoposta alle leggi che abbiamo indicate. Ma a motivo delle inclinazioni respettive di tutti i piccoli piani che compongono la superficie refrangente, i raggi refratti prendono gli uni rispetto agli altri delle posizioni che dipendono dalla figura del mezzo, e a seconda delle circostanze tendono verso uno stesso punto o divergono maggiormente che i raggi incidenti.

Dallo studio di queste differenti direzioni della luce così refratta, gli ottici sono giunti a costruire quegl'istrumenti sì utili, in grazia dei quali i raggi mandati da un corpo che l'occhio da per sè stesso non potrebbe distinguere, giungono a quest'organo nello stesso ordine che se l'oggetto fosse alla sua portata, e glielo rendono visibile mostrandoglielo dove non esiste.

1.° *Caso in cui il mezzo è terminato da una sola superficie curva.* Sia *m h n* (*Tav.* VI, *Fig.* 174) una porzione di superficie sferica, e sieno *s k*, *s t* due raggi incidenti partiti da un punto *s* preso sul prolungamento dell'asse *c h*. Supponiamo che questi raggi sieno vicinissimi allo stesso asse, e facciano con lui

degli angoli eguali. Le perpendicolari *u g*, *z l*, ai punti d'immersione sono necessariamente sui prolungamenti dei due raggi del cerchio a cui appartiene l'arco *m h n*, e di cui il centro è in *c*; dunque queste perpendicolari convergono verso l'asse *c h*; e se noi supponiamo che il mezzo *M* che costituisce la materia della sfera sia più denso del mezzo *E* percorso dai raggi incidenti, è facile osservare che i raggi refratti *k x*, *t q* avvicinandosi alle perpendicolari si avvicineranno ancora all'asse. Inoltre se il punto *s* è ad una conveniente distanza dalla superficie *m h n*, gli stessi raggi convergeranno verso un punto *f* dell'asse, ove si riuniranno. Tutti gli altri raggi partiti dal punto *s*, e che compongono coi precedenti un cono molto acuto, la base del quale ha il punto *h* per centro ed il piccolo arco *k t* per diametro, convergeranno parimente gli uni verso gli altri, dimodochè si formerà dietro la superficie *m h n* un nuovo cono opposto al primo colla sua base, e la cui sommità sarà in *f*. Questo punto è il *fuoco* dei raggi partiti dal punto *s*.

È principalmente sulla considerazione dei fuochi che è fondata la costruzione degl'istrumenti ottici, giacchè le immagini che noi osserviamo per mezzo di questi istrumenti, altro non sono che riunioni di fuochi provenienti dai punti irraggianti situati alla superficie dei medesimi oggetti, dal che resulta che le distanze fra questi punti ed i vetri a cui mandano i loro raggi variano continuamente a misura che lo spettatore cambia di posizione, o che osserva successivamente diversi oggetti più o meno lontani.

Immaginiamo per esempio che il punto *s*, essendo prima nella posizione che indica la figura 174.ª, si trovi trasportato in *S'* (*Tav.* VI, *Fig.* 175) ad una maggior distanza dalla superficie refrangente. È chiaro che in tal circostanza i raggi incidenti *s' k'*, *s' t'* divergono meno fra loro dei raggi *s k*, *s t*. Dunque poichè i primi fanno colle perpendicolari ai punti *k' t'* degli angoli più piccoli di quando il punto luminoso era in *s*, i raggi refratti che loro corrispondono saranno pure più vicini che i primi alle medesime perpendicolari. Essi adunque convergeranno maggiormente fra loro, ed il fuoco *f'* che formeranno riunendosi insieme, e cogli altri raggi, sarà situato

ad una minor distanza dalla superficie refrangente che il fuoco f.

A misura che il punto s s'allontanerà dalla superficie $m\ h'\ n$, il fuoco f' si avvicinerà sempre più alla stessa superficie. Questo movimento giungerà al suo limite, quando il punto luminoso s', essendo ad una distanza che possa riguardarsi infinita, dalla superficie refrangente, i raggi incidenti $s'\ k'$ e $s'\ t'$ potranno considerarsi come paralleli. Questa supposizione ha luogo quando si osservano degli oggetti lontanissimi per mezzo di un istrumento ottico.

Riprendiamo il caso in cui il punto irraggiante è situato in s (*Tav.* VI, *Fig.* 174), e supponiamo che questo punto si avvicini invece alla superficie refrangente. Un ragionamento analogo a quello che abbiamo fatto pel caso precedente, proverà che il nuovo fuoco deve formarsi al di là del fuoco f. A misura che la distanza diminuirà fra il punto s e la superficie, i raggi refratti convergeranno sempre meno fra loro; vi sarà un termine in cui diverranno paralleli, di modo che il fuoco svanirà, e passato questo termine divergeranno, come vedesi nella Fig. 176, benchè in minor grado dei raggi incidenti. Allora converrà prolungarli al di sopra della superficie refrangente per avere il loro punto di riunione, il quale si troverà in f, dallo stesso lato che il punto irraggiante s, ma ad una maggiore distanza dalla superficie. In questo caso si dà al punto f il nome di *fuoco virtuale* o *immaginario*, per distinguerlo dal *fuoco reale* determinato dalla riunione effettiva dei raggi refratti, e che ha una fisica esistenza. Il punto s continuando ad avvicinarsi alla superficie refrangente, la divergenza dei raggi refratti aumenterà, dal che è facile concludere, che durante il movimento del punto s, il fuoco immaginario si avvicinerà sempre più alla stessa superficie.

Da ciò che precede deducesi che quando il punto irraggiante ed il fuoco sono situati ai lati opposti della superficie refrangente, la distanza del fuoco da questa superficie diminuisce a misura che quella del punto irraggiante aumenta, e reciprocamente; ma se il fuoco è situato dalla stessa parte del punto irraggiante, le due distanze crescono e diminuiscono contemporaneamente.

Abbiamo detto che allorquando il punto irraggiante è lontanissimo dalla superficie refrangente, i suoi raggi possono considerarsi come paralleli. Esaminiamo adunque il caso in cui dei raggi luminosi paralleli entrano in un mezzo terminato da una superficie curva. Sia *m a n* una porzione di questa superficie (*Tav.* VI, *Fig.* 177), e *s i*, *s' t* due raggi paralleli all'asse *a c* del mezzo *m a n c* ed egualmente distanti dal medesimo. Questi raggi passando da un mezzo meno denso in uno più denso si avvicinano alle perpendicolari *z i*, *g t*, e vanno ad incontrare l'asse *a c* nel fuoco *f*, il quale perciò dicesi *fuoco principale*. È in questo punto che segue la concentrazione di tutti i raggi paralleli ad *s i*, *s' t* ed egualmente distanti dall'asse. I raggi più lontani dall'asse si riuniranno in *f''* ed i raggi più vicini in *f'*, dimodochè il fuoco anche in questo caso non è un punto unico, ma vi si approssima tanto più, quanto meno estesa è la superficie *m a n*.

2.° *Caso in cui il mezzo è terminato da due superficie curve opposte, ossia refrazione delle lenti.* Si distinguono col nome di *lenti* dei mezzi trasparenti, terminati da due superficie sferiche, o da una superficie piana ed una sferica. Nel maggior numero dei casi le lenti sono di vetro o di cristallo; se ne formano però anche di quarzo, di zaffiro e di diamante. Si giunge a dare alla lente la forma che si desidera arruotando la sostanza che la deve costituire per mezzo di certe polveri minerali su dei piatti metallici appositamente incavati e rotondati. Si usano ancora delle lenti fluide, che si costruiscono empiendo di un liquido lo spazio compreso fra due vetri incurvati e riuniti, come sarebbero due vetri da orologio.

Le lenti distinguonsi in *convergenti* e in *divergenti*. Le prime sono *convesso-convesse* o *piano-convesse* (*Tav.* VI, *Fig.* 178). Quella lente che è costituita da due superficie sferiche l'una concava e l'altra convessa, la prima delle quali ha un raggio maggiore della seconda, dicesi *menisco convergente* (*Tav.* VI, *Fig.* 178).

Le lenti divergenti sono o *biconcave* o *piano-concave* (*Tav.* VI, *Fig.* 179). Un *menisco divergente* è formato da due superficie sferiche l'una concava e l'altra convessa in cui il raggio della prima è minore di quello della seconda (*Tav.* VI, *Fig.* 179).

Chiamasi asse della lente la linea *c c'* che congiunge i centri di curvatura delle due superficie; per le lenti piano-convesse o piano-concave l'asse è la perpendicolare *c p* abbassata sul piano dal centro di curvatura.

È assai facile ad osservarsi la proprietà che distingue le lenti convergenti dalle divergenti. Le prime esposte al sole fanno convergere i suoi raggi, i quali dopo averle traversate riunisconsi in un punto dal quale poi divergono. Queste lenti ingrandiscono gli oggetti che si guardano attraverso di esse, e son più grosse in mezzo che sui lembi. Le lenti divergenti fanno divergere i raggi solari che le attraversano, fanno comparire più piccoli gli oggetti e son più grosse sui lembi che nel mezzo.

Per concepire la causa di questi effetti, conviene studiare la strada dei raggi luminosi nel loro passaggio attraverso le lenti. Cominciamo dalla *lente biconvessa.*

Sia *m n h l* (*Tav.* VI, *Fig.* 180) una lente biconvessa ed *s* un punto luminoso situato sul suo asse, ad una tal distanza dalla superficie refrangente *m h n*, che i raggi refratti *k x*, *t q* convergano fra loro; è facile osservare che i raggi emergenti convergeranno maggiormente allontanandosi dalle perpendicolari ai punti *x*, *q*, e così il punto *f* nel quale si riuniranno sull'asse della lente sarà più vicino alla superficie *m l n* che nel caso in cui i raggi *k x*, *t q* avessero continuato la loro strada senza alcuna deviazione. Se il punto *s* viene ad allontanarsi dalla lente, la convergenza dei raggi refratti aumenterà, e questa circostanza determinerà il punto *f* ad avvicinarsi continuamente alla superficie *m l n*. I punti *s* ed *f* presi relativamente l'uno all'altro, son detti *fuochi coniugati*, perchè se il punto luminoso fosse in *f* i raggi anderebbero a concentrarsi nel punto *s*.

Allorquando il punto *s* è ad una distanza infinita dalla lente, il fuoco *f* (*Tav.* VI, *Fig.* 181) prende il nome di *fuoco dei raggi paralleli* od anche di *fuoco principale.*

Rimettiamo il punto luminoso nella posizione indicata dalla Fig. 180, e supponiamo che l'abbandoni per avvicinarsi alla lente. Allora il fuoco *f* si allontanerà dalla medesima, ed allorquando il punto luminoso coinciderà col fuoco principale,

i raggi emergenti $x\,f$, $q\,f$ diverranno paralleli. Se il punto s continuerà a muoversi verso la lente, gli stessi raggi abbandoneranno il loro parallelismo e cominceranno a divergere, per cui il loro fuoco diverrà immaginario.

Allorquando il grado di allontanamento dei raggi paralleli dall'asse è costante, la distanza del fuoco dipende dalla forma della lente e dalla forza refrangente della sostanza che la costituisce. In una lente di vetro per es. le cui superficie sono egualmente convesse, il fuoco è situato presso il centro della sfera di cui la superficie della lente forma parte.

Per determinare sperimentalmente il fuoco principale di una lente convessa, si espone ad una luce che emani da un corpo luminoso molto lontano, affinchè i raggi che giungono sulla sua superficie possano essere riguardati come paralleli. Tale si è per esempio il caso della luce solare: e se si presenta una lente convessa al sole si potrà ricevere l'immagine di questo astro sopra un diaframma, ed il punto in cui l'immagine sarà la più piccola e la più lucente, ivi sarà il fuoco dei raggi paralleli. Concentrando in questa guisa i raggi solari si produce un calore assai forte per produrre in certi casi la fusione dei metalli. Se si colloca una sorgente luminosa al fuoco principale di una lente biconvessa, poichè i raggi refratti emergono fra loro paralleli, l'intensità della luce decresce assai più lentamente che se emanassero direttamente dalla sorgente; perciò una lampada posta nella indicata circostanza può rischiarare a grande distanza. In ottica distinguonsi anche le lenti a foco lungo o corto, secondo la diversa lunghezza della distanza focale; e le medesime non sono indifferentemente usate nella costruzione degli strumenti ottici.

Abbiamo già detto che i raggi di luce che cadono perpendicolarmente sopra una superficie refrangente qualunque non sono mai refratti, ma continuano la loro strada senza cambiare direzione. Nel caso di una lente, il fascio dei raggi che segue la direzione dell'asse e che passa pei due centri di curvatura è il solo perpendicolare alla superficie refrangente, e rigorosamente parlando, questo fascio di raggi sarebbe il solo che dovrebbe traversare la lente senza provare deviazione. Esiste non di meno nella grossezza della lente e sul suo asse

un punto particolare, che chiamasi *centro ottico*, situato in modo che tutti i raggi che lo traversano prendono, sortendo dalla lente, una direzione parallela a quella che avevano entrandovi. Nella lente *m n* per. es. (*Tav.* VII, *Fig.* 182) il raggio *A B* refratto nella direzione *B H* è nuovamente deviato sortendo dalla lente, lungo la linea *H D* parallela ad *A B*. Se la grossezza della lente è molto piccola si può senza commettere errore sensibile riguardarla come nulla; allora la linea *A B H D* diviene una linea retta e si confonde colla linea *A B C E*, e perciò il raggio *A B* sarà passato attraverso la lente senza aver cambiato direzione. Alla linea *A E* che passa pel centro ottico si dà il nome di *asse secondario*; essa rappresenta l'asse principale rispetto ai raggi che le sono paralleli. Così un fascio di raggi paralleli *P P'*, (*Tav.* VI, *Fig.* 183) obliquo all'asse principale, avrà il suo fuoco in *F'* sull'asse secondario *M C*, condotto pel centro ottico parallelamente al fascio. Nondimeno è importante osservare che se il fascio di raggi è inclinato per modo che l'asse secondario faccia coll'asse principale un angolo più grande di 10 a 15 gradi, tutti i raggi di questo fascio non convergeranno più esattamente allo stesso punto dopo la loro refrazione. In questo caso si dice che il punto luminoso è fuori del campo della lente.

Passiamo adesso a studiare le deviazioni dei raggi luminosi attraverso le *lenti biconcave*.

Sia *A B* un raggio di luce (*Tav.* VII, *Fig.* 184) incidente sopra una lente biconcava, parallelamente all'asse. Questo raggio entrando nel vetro sarà refratto nella direzione *B b*, avvicinandosi alla perpendicolare *C' B*. Lo stesso raggio sortendo dalla lente s' allontanerà dalla perpendicolare, e seguirà la direzione *b H*. Ogni altro raggio di luce che cade parallelamente all'asse sulla lente, come per es. *E D*, s'allontanerà da questa direzione dopo la sua emergenza, dimodochè i raggi refratti non incontreranno mai l'asse. Non si avrà in questo caso alcun fuoco reale, e se si prolunga il raggio *b H* nella direzione *H b*, esso anderà a tagliare l'asse al punto *F*, che è un fuoco immaginario o un punto di dispersione situato dietro la lente, dal quale i raggi refratti sembrano provenire. Nel caso in cui i raggi partano da un punto *S* (*Tav.* VII, *Fig.* 185)

situato sull'asse, si riconosce, mediante la stessa costruzione, che si forma un fuoco virtuale in *s*, posto tra il fuoco principale e la lente. In quanto alle lenti piano-convesse, piano concave ec. ec., sarebbe facile trovare la strada dei raggi incidenti sopra di esse con un metodo analogo a quello che abbiamo indicato, rammentandosi sempre, che se il passaggio della luce si fa da un mezzo meno refrangente in uno più refrangente, il raggio si avvicina alla perpendicolare, e che se ne allontana nel caso contrario.

Delle immagini formate dalle lenti. Le immagini sono formate dalle lenti precisamente nel modo stesso che dagli specchi; vale a dire sono il complesso dei fuochi dei diversi punti del corpo luminoso. Sia *A B* un oggetto posto dinanzi ad una lente convessa, e più lontano da essa del fuoco principale *F* (*Tav.* VII, *Fig.* 186). Rammentiamoci che ciascuno dei punti di cui l'oggetto è composto avrà il suo fuoco o immagine, situato dall'altro lato della lente, sulla linea retta che passa da questo punto e dal centro ottico *C*; il punto *A* per es. avrà il suo fuoco in *a*, ed il punto *B* in *b* a delle determinate distanze. I raggi che partiranno da tutti i punti intermedj convergeranno pure a dei fuochi situati sulla linea *a b* e determinati nella stessa guisa, dimodochè la linea *a b* rappresenterà l'immagine rovesciata dell'oggetto *A B*. È facile dedurre dalle considerazioni che precedono, che se l'oggetto è lontanissimo dalla lente, l'immagine sarà situata quasi al fuoco principale *F'*, piccolissima e rovesciata. A misura che si avvicinerà l'oggetto, l'immagine sempre rovesciata si allontanerà ingrandendosi; infine essa acquista le maggiori dimensioni possibili quando l'oggetto si trova posto molto vicino al fuoco. A questo punto l'immagine va a formarsi ad una distanza infinita, poichè i raggi escono paralleli, l'immagine non è in realtà più visibile. Se l'oggetto *A B* è posto più vicino alla lente che il fuoco principale, l'immagine *a b* si troverà dallo stesso lato dell'oggetto, e sarà diritta, virtuale, e sempre più grande dell'oggetto. Questa immagine diviene sempre più grande a misura che l'oggetto si avvicina alla lente. È per questa ragione che guardando un oggetto qualunque con una lente convergente, allorquando il medesimo è situato presso la lente

stessa e dentro la sua distanza focale, noi lo vediamo ingrandito e nella sua vera posizione.

Si abbia ora una lente biconcava *E F* (*Tav.* VII, *Fig.* 187) dinanzi alla quale sia posto l'oggetto *H P*. L'andmeanto del raggio luminoso *P m n* mostra chiaramente l'impossibilità della formazione di una immagine al di là della lente, e che il fuoco *p'* non può trovarsi che sul prolungamento del raggio *D n*. Parimente il fuoco del punto luminoso *H* non può trovarsi che in *h* sul prolungamento del raggio *D' n'*, talchè è evidente che l'immagine *h p* sarà diritta, situata dalla stessa parte dell'oggetto e più piccola.

Nella teoria dei fuochi e delle immagini formate dalle lenti sferiche, si è sempre supposto che i raggi emessi da uno stesso punto, si riunissero dopo la refrazione parimente in un sol punto. Così avviene difatti quando l'apertura della lente, cioè l'angolo che si ottiene unendo i suoi lembi al fuoco non sorpassa 10 o 12 gradi. Per un'apertura maggiore, i raggi che attraversano la lente presso i lembi hanno il loro punto di riunione meno lontano dalla lente di quelli che l'attraversano presso l'asse; talchè si produce un fenomeno simile a quello che abbiamo notato negli specchi col nome di aberrazione di sfericità per riflessione, e che nel caso delle lenti s'indica col nome di *aberrazione di sfericità per refrazione.* Le superficie brillanti che in conseguenza di essa sono formate nello spazio dalle intersezioni successive dei raggi refratti si chiamano *caustiche per refrazione.* Questa aberrazione di sfericità è nociva alla chiarezza delle immagini. Si ovvia a questo inconveniente delle lenti collocando innanzi ad esse dei diaframmi aventi un'apertura centrale che dia libero passaggio ai raggi che si presentano verso il centro e trattenga quelli che tendono a refrangersi verso i lembi. Del resto combinando due lenti di opportune curvature si giunge a distruggere completamente l'aberrazione di sfericità.

Lenti a gradinate di Fresnel. Le lenti di grandi dimensioni riescono di difficile costruzione; inoltre producono una grande aberrazione di sfericità, e perdono molto in trasparenza a motivo della loro grossezza. Per togliere questi inconvenienti, Fresnel immaginò di costruire le lenti di varj pezzi concen-

trici, e tali lenti riceverono il nome di *lenti a gradinate* o a *scaglioni*. Sono desse formate da una lente centrale piano-convessa *C* (*Tav.* VII, *Fig.* 188), cinta da una serie di segmenti anulari e concentrici *A B*, ciascuno dei quali ha una faccia piana situata dalla parte della faccia piana della lente centrale, mentre le facce opposte hanno curvature tali che i fuochi dei varj segmenti si formano nel medesimo punto. Ciò ottiensi dando alla parte centrale della lente un raggio di curvatura assai piccolo, e facendo che i successivi anelli abbiano raggi di curvatura successivamente maggiori. Allora gli anelli più lontani dal centro tendono naturalmente ad avere distanze focali minori; ma poichè dotati di raggi di curvatura maggiori debbono accrescere le loro distanze focali, laonde potranno talmente disporsi le cose da ottenere una perfetta compensazione, in guisa che tutte le parti della lente abbiano la stessa distanza focale.

Se si pone una sorgente luminosa nel fuoco comune di una di queste lenti, tutta la luce che emana da essa dopo aver traversato la lente forma un largo fascio di raggi quasi paralleli; i quali lo sarebbero rigorosamente se tutti i punti della sorgente luminosa fossero concentrati alla distanza focale principale.

Fresnel ha costruito anche delle lenti cilindriche convergenti a scaglioni. Essendo state queste lenti dal medesimo fisico applicate ai fari, interessa conoscere il loro modo di agire. Suppongasi una lente cilindrica piano-convessa posta verticalmente, vale a dire colla base del cilindro di cui essa è segmento, in posizione orizzontale; è chiaro che se sopra di essa cada un fascio di raggi divergenti questi non si potranno raccogliere in un punto solo, ancorchè la lente sia di piccolissima ampiezza, o corretta dalla aberrazione nel modo sopra indicato, perocchè la superficie cilindrica è curva solo per un verso; quindi si avrà una linea verticale di fuochi nella quale tutti i raggi debbono incontrarsi. Ora s'immagini una fiamma di piccol volume collocata nel mezzo di questa linea; è chiaro che la luce nel verso dei piani verticali emerge dalla lente colla sua divergenza, ma non può divergere nel verso dei piani orizzontali, perchè la curvatura della lente

obbliga i raggi a rendersi paralleli; quindi al di là della lente la luce sarà ridotta alla forma di un ventaglio aperto in un piano verticale. Se la lente venisse collocata orizzontalmente e con una delle facce rivolta al lume, che si supponga sempre situato nella metà della linea focale, allora la luce emergerebbe in forma di un ventaglio aperto in un piano orizzontale, e se mentre la luce emerge così da questa lente orizzontale le verrà presentata una lente pure cilindrica verticale, il ventaglio si chiuderà, vale a dire si avrà un fascio di raggi paralleli come se fossero usciti da una lente sferica provenienti dal suo fuoco principale.

Applicazioni ai fari delle lenti a gradinate. Quest'applicazione devesi a Fresnel, ed ha ottenuto un successo così grande, che è stata adottata da tutti i paesi marittimi d'Europa. Avendo ben inteso quanto sopra abbiamo esposto intorno al modo di agire delle lenti cilindriche, ci sarà facile intendere come siano congegnati i fari alla Fresnel. E primieramente suppongasi che delle lenti cilindriche a scaglioni siano disposte in giro quasi fossero i vetri di una grossa lanterna poligonale entro la quale stia una fiamma viva e di piccolo volume. Se la medesima sia situata nel fuoco comune di queste lenti, tutta la luce incidente sopra di queste emergerà in forma di un ventaglio orizzontale che occuperà l'intiero cerchio, perchè le lenti si trovano intorno al lume da tutte le parti formando una serie continua. Quindi quella luce, che seguendo il suo cammino naturale avrebbe dovuto propagarsi in tutte le direzioni, è costretta a ridursi orizzontale, e quindi si avrà una striscia circolare di luce molto viva. Così sono fatti i piccoli fari a luce fissa, detti di 5.° ordine.

Suppongasi ora che intorno a quella gabbia di lenti cilindriche orizzontali girino tre altre lenti cilindriche verticali messe ad eguali distanze; è evidente che di tutto quel ventaglio circolare orizzontale se ne fanno sei ventagli comuni, tre dei quali passano negli intervalli che restano tra le tre lenti verticali anzidette, e gli altri tre cadono su di queste; quindi i tre primi restano aperti e i tre ultimi si chiudono, vale a dire riduconsi in fasci di raggi paralleli (*Tav.* VII, *Fig.* 189). Perciò si avranno tre splendori fulgidissimi, tre splendori

medj, e sei intervalli oscuri in tutto il cerchio. E poichè le lenti cilindriche verticali per un congegno di orologeria girano intorno alla lanterna o gabbia di lenti cilindriche orizzontali, così ne segue che un osservatore stando fisso in un punto qualunque dell'orizzonte, dovrà successivamente provare tutte le fasi che il faro presenta. Ecco adunque la ragione dei lampi intermittenti di luce che osservansi nei fari dei nostri principali porti del Mediterraneo.

A fine di ridurre orizzontale quella luce che si propagherebbe al di sopra e al di sotto della lampada e che non può cadere sulle lenti, sono disposti opportunamente al di sopra e al di sotto del sistema refrangente dei prismi che per riflessione totale riconducono la luce all'orizzonte, e talora anco degli specchi, che producono lo stesso effetto. La luce finalmente proviene da una lampada alla Carcel, a due, tre o quattro lucignoli di forma cilindrica e concentrici.

La figura 190 (*Tav.* VII), rappresenta il modo con cui è disposto un fanale di porto detto di 3.° ordine. Nel medesimo il sistema refrangente si compone di 5 anelli sovrapposti *n*, ed il sistema riflessore di otto anelli prismatici *p*, cinque dei quali in alto e tre in basso, tagliati e disposti in guisa che la luce provi sulle loro grandi facce una totale riflessione, mentre entra ed esce dalle altre facce sotto una piccola obliquità. In *m* sono rappresentate le lenti cilindriche verticali, mobili, destinate a produrre i lampi periodici che si rinnuovano tre o quattro volte per minuto. Sono desse sostenute dal piano *z* che è posto in moto da un peso per mezzo degl'ingranaggi *y*. Il loro fuoco è pure situato in mezzo alla fiaccola del fanale.

Pei fanali di un ordine più elevato, le distanze focali debbono essere maggiori, e sarebbe troppo difficile lavorare degli anelli di vetro di un diametro sufficiente: allora vi si supplisce componendo il sistema refrangente fisso, di lenti cilindriche orizzontali, le quali in numero di 32 sono riunite in guisa da formare un prisma a 32 piani, il quale rimpiazza il sistema circolare precedente.

La differenza tra i diversi ordini di fari sta nel diverso numero di lucignoli della lampada, nella diversa grandezza delle lenti, ed anche nella diversa forma delle medesime.

La figura 191 (*Tav.* VII), rappresenta un fanale di prim'ordine in cui il sistema riflessore è fisso, ed il sistema refrangente è mobile. Il primo sistema si compone di specchi di vetro stagnati, disposti in *m*, formando otto piani superiori e quattro inferiori. La loro disposizione è tale che la luce della lampada viene ad essere riflessa orizzontalmente. Il sistema refrangente è formato da otto lenti anulari sferiche *a*, portate per mezzo di aste di ferro sul piano *z*, che è posto in movimento con un meccanismo simile a quello del faro precedentemente descritto.

La portata dei fanali, o la distanza alla quale sono visibili da un punto dato dall'orizzonte del mare, dipende dall'altezza alla quale son posti, imperocchè per un osservatore all'altezza di 5 metri, il cerchio reale dell'orizzonte è di circa 8,000 metri o due leghe, e la distanza aumenta come la radice quadra dell'elevazione, dimodochè per un'altezza di 20 metri la distanza è di 16,000 metri, e per quella di 500 metri è di 20 leghe.

Della decomposizione della luce e de' colori.

La luce che emana dai corpi luminosi ci sembra costituita di raggi semplici, ma non è realmente tale: ogni raggio di luce è composto di raggi di colori diversi, i quali differentemente assorbiti e riflessi dai corpi producono le tinte svariate da cui sono rivestiti. Questa grande scoperta è dovuta a Newton, e noi ci accingiamo ad esaminare i fatti che la costituiscono. Se alla imposta *V V* di una camera oscura si pratica una piccola apertura *H*, di una linea di diametro (*Tav.* VII, *Fig.* 192) in modo da farvi passare un fascio *S H* di raggi solari, e se sul loro passaggio si pone un prisma triangolare di vetro *P* simile a quello descritto trattando della refrazione, in modo che l'asse del prisma sia perpendicolare alla direzione dei raggi, si vede che questi subiscono non solo una deviazione, ma ben anco una decomposizione. Difatti si osserva che mentre prima d'interporre il prisma, l'immagine solare era circolare, dopo essa è invece divenuta ellittica e molto allungata perpendicolarmente agli spigoli del prisma, e di bianca

che era, essa si è dipinta di diversi colori. Questa immagine, che dicesi *spettro solare*, è terminata da due linee parallele perpendicolari agli spigoli del prisma, e da due semicircoli paralleli a quegli spigoli, e si compone di strisce parallele di colore diverso. Quando lo spettro è ben formato vi si distinguono sette strisce dei sette seguenti colori: rosso, arancione, giallo, verde, blù, indaco, violetto. Il rosso è il più alto, ed il violetto è il più basso quando l'angolo refrangente del prisma è rivolto in alto; quando invece l'angolo refrangente è rivolto in basso il violetto è il più alto ed il rosso il più basso.

Onde queste strisce colorate sieno ben distinte è necessario ricevere lo spettro sul diaframma a 5 o 6 metri dal prisma. Il prisma che si adopra generalmente in queste esperienze è di vetro o di cristallo. Si può anche adoprare un prisma liquido, che si fa riempiendo di un liquido trasparente un prisma costruito con delle lamine di vetro riunite con del mastice negli spigoli. Versando in siffatto prisma dei liquidi diversi si può determinare la diversa ampiezza dello spettro, o ciò che chiamasi il *coefficiente di dispersione* delle diverse sostanze. Si fa questa osservazione con una serie di prismi che hanno lo stesso angolo refrangente, sovrapposti l'uno all'altro, movendoli davanti l'orifizio da cui entra il fascio di luce solare: s'obbliga questo fascio a cadere sui diversi prismi colla stessa obliquità, e si ottengono in tal modo degli spettri diversamente deviati, e nei quali i diversi colori occupano degli spazj diversi. Nello spettro ottenuto da un prisma di *flint-glass*, che è un vetro contenente dell'ossido di piombo, v'è proporzionalmente assai più violetto che rosso, in confronto dello spettro formato da un prisma di *crownglass* o di vetro ordinario.

Qualunque sia però la sostanza del prisma adoprato, qualunque sia la luce bianca scomposta dal prisma, la disposizione dei raggi colorati nello spettro è sempre la stessa: la striscia violetta è sempre la più deviata, cioè quella che è più lontana dall'angolo refrangente del prisma, e successivamente lo sono meno gli altri sei colori dello spettro.

La decomposizione della luce proviene da ciò, che i sette raggi di differente colore, che costituiscono la luce bianca,

sono diversamente refrangibili. Allorquando un raggio di luce passa attraverso un prisma, ciascuno dei sette raggi colorati da cui è composto, è refratto secondo una particolare direzione. I raggi violetti essendo i più refrangibili sono i più deviati dalla primitiva loro direzione, e perciò i più allontanati dall'angolo refrangente del prisma. Vengono in seguito gli altri raggi, fino ai rossi, i quali essendo i meno refrangibili sono i meno deviati dalla primitiva loro direzione, e sono i più prossimi all'angolo refrangente del prisma. Se si pone un secondo prisma sul passaggio dei raggi coloriti, questi raggi saranno nuovamente refratti, ma senza subire questa volta alcuna decomposizione o cambiamento di colore.

L'ineguale refrangibilità dei raggi colorati si conferma con un'esperienza diretta. Si arresta lo spettro sopra un diaframma traversato da un foro e dietro al quale trovasi un secondo prisma (*Tav.* VII, *Fig.* 193), poi girando un poco il primo prisma, si fanno giungere successivamente tutti i colori sul secondo: allora si osservano le loro deviazioni, e si vede che il rosso va a cadere per es. in *r*, mentre il violetto si dipinge in *u*, il che mostra direttamente che il violetto è più refrangibile del rosso, e che i colori intermedj hanno delle refrangibilità intermedie crescenti dal rosso al violetto.

L'occhio non distingue che sette colori nello spettro, ma non bisogna dedurne che non vi sono che sette gradi di refrangibilità nella luce bianca: resulta infatti dalla forma stessa dello spettro, che in ogni colore vi sono delle differentissime refrangibilità. Supponiamo infatti per un istante che non vi sieno nella luce solare che del rosso di una sola refrangibilità e del violetto di una sola refrangibilità; lo spettro si ridurrebbe allora a due circoli separati; cioè il cerchio del rosso che comparirebbe in basso, ed il cerchio del violetto in alto, e fra i due cerchi vi sarebbe una grande lacuna. Da ciò s'intende che lo spettro si compone di tanti cerchi sovrapposti quante sono le diverse refrangibilità della luce. Per determinare il loro numero esatto, si è tentato separarli diminuendo più che era possibile il diametro dell'apertura dell'imposta, ed allontanando molto il diaframma, ma non si è riusciti nell'intento, poichè in questo caso si osserva che

ogni cerchio colorato occupa nel senso della lunghezza uno spazio più grande che il cerchio dell'immagine solare, e presenta delle sfumature presso il colore prossimo, il che dee far concludere che per ogni colore vi sono varj cerchi in parte sovrapposti, cioè a dire varie immagini dello stesso colore e di differente refrangibilità.

Semplicità dei colori dello spettro. Ogni colore dello spettro, benchè debba considerarsi costituito di raggi diversamente refrangibili, non è suscettibile di esser decomposto in nuovi colori. Difatti se dopo avere isolato con un diaframma fornito di un piccolo foro, un fascio qualunque dello spettro, il violetto per es., si fa passare per un numero qualunque di prismi, di lenti, o di altri corpi refrangenti, non si vedrà comparire alcun nuovo colore. Se si fa cadere questo fascio violetto sopra un corpo di colore diverso, rosso, giallo, verde ec., questo corpo diviene violetto, senza che vi si possa scuoprire alcuna traccia del colore primitivo che offre naturalmente e che gli sembra proprio ed inerente. L'esperienza può farsi sulle foglie delle piante, sui fiori, sull'oro ec.; tutti questi corpi prendono allora la stessa tinta, divengono violetti, come se questo colore fosse il loro proprio. Parimente in un fascio rosso, tutti i corpi divengono rossi, in un giallo gialli, e così di seguito.

Parimente se si fanno passare dei raggi di un colore dello spettro attraverso dei corpi diafani di diversi colori, si osserva che, o i raggi che passano sono del colore del raggio dello spettro che li traversa, o non passano minimamente essendo intieramente assorbiti. Questa esperienza è specialmente rimarchevole con dei vetri rossi; alcuni lasciano passare liberamente la luce violetta, altri l'assorbono in totalità, benchè osservandoli ambedue alla luce del cielo sembrino egualmente coloriti ed egualmente trasparenti: quello che assorbe il violetto, assorbe in generale tutti gli altri colori dello spettro eccetto il rosso; perciò è un corpo trasparente pel rosso e più o meno opaco per gli altri colori.

Suol dirsi con Newton, che la luce semplice è omogenea; ma questa espressione è inesatta, giacchè sembra indicare che tutte le parti di questa luce provino sempre gli stessi effetti.

Ora è facile verificare che un raggio di luce semplice è in parte riflesso alla superficie di un corpo diafano, ed in parte refratto nel suo interno; perciò queste due parti non sono identiche perchè subiscono per una stessa causa degli effetti diversi.

I colori dello spettro attesa la loro semplicità diconsi anche *semplici* o *elementari*.

Ricomposizione della luce bianca. Dopo aver decomposto un fascio di raggi di luce, si riesce a ricomporlo riunendo tutti i raggi in uno stesso punto. Si giunge a questo resultato ricevendo lo spettro solare ad una certa distanza dal prisma sopra una lente convergente; ogni sistema di raggi avendo un diverso potere refrangente formerà un fuoco separato, e vi sarà dunque sull'asse della lente una serie di fuochi distinti, ma così poco lontani fra loro, che se vi si porrà un foglio di carta bianca non si vedrà che un'immagine bianca leggermente colorita sui margini. L'esperienza può farsi anche per mezzo di un secondo prisma. Se di dietro al primo prisma che ha separati i sette raggi della luce bianca se ne presenta un altro simile disposto inversamente al primo, cioè coll'angolo refrangente in basso; allora il fascio che è colorato fra i due prismi non lo è più al di là del secondo, ed il fascio che lo attraversa è di nuovo di luce bianca, e parallelo al fascio caduto sul primo prisma. Per fare questo esperimento si può prendere un cubo fatto con lamine di vetro, e separato in due cavità prismatiche da una lastra di vetro messa nella diagonale. Mettendo acqua in uno dei prismi, il raggio è deviato e fa spettro; questo non accade più versando acqua pure nell'altra cavità. Possono anche concentrarsi i raggi colorati divisi dal prisma per mezzo di un grande specchio concavo. Al fuoco di questo specchio si vedrebbe un immagine bianca; ma se si togliesse il diaframma dal fuoco per lasciare ai raggi la libertà di continuare la loro strada al di là del punto di convergenza si vedrebbe lo spettro riprodursi.

Si può mostrare sperimentalmente anche con dei mezzi meccanici che il color bianco è composto dei sette colori dello spettro. Si prendano sette polveri, aventi ciascuna uno dei colori dello spettro; se si macinano insieme entro un mortajo

si otterrà un composto grigio biancastro. Se si prende un disco di cartone o di legno diviso in sette segmenti ciascuno dei quali abbia uno dei colori dell'iride, e se per mezzo di un asse qualunque si fa ruotare con grande rapidità, al nostro occhio apparirà di color biancastro. È questo un effetto della persistenza delle immagini sulla nostra retina, di cui abbiamo già avuto luogo di discorrere.

Colori complementarj. Per mezzo di quest'ultima esperienza si possono scuoprire altre proprietà dei colori elementari dello spettro. Poichè tutti i colori semplici, presi insieme nella loro naturale proporzione riproducono la luce bianca, è evidente che per alterarne la bianchezza basterà sopprimere uno dei colori semplici, o semplicemente alterarne la proporzione. Se nel disco ruotante sopra descritto si sopprime il segmento rosso e si lasciano tutti gli altri colori, si ottiene una tinta azzurrastra; questo colore mescolato al rosso produce il bianco. Ogni volta che due colori semplici o composti adempiono questa condizione, cioè a dire ogni volta che mescolati insieme riproducono del bianco, sono detti *complementarj* l'uno dell'altro. Non v'ha colore, qualunque sia, che non abbia il suo complementario, giacchè se non è bianco gli mancano soltanto alcuni degli elementi del color bianco, e questi elementi fra loro mescolati formano il suo colore complementario. Ma se al miscuglio di questi elementi si aggiungesse in diverse proporzioni del bianco, si avrebbero tante tinte diverse che sarebbero tutte egualmente efficaci per riprodurre il color bianco col colore dato. V'ha dunque rigorosamente una infinità di tinte diverse che hanno lo stesso colore complementario, ed un'infinità di tinte complementarie che appartengono allo stesso colore. La maggior parte dei verdi hanno per colori complementarj dei violetti più o meno rossastri, ed i gialli degli indachi più o meno violetti.

Per istudiare coll'esperienza le tinte che resultano dai varj colori semplici mescolati, si può impiegare un apparecchio composto di sette specchi: si pone a una grande distanza dal prisma onde lo spettro sia bene esteso, e s'inclinano convenientemente gli specchi per dirigere in uno stesso punto di un foglio di carta bianca quei colori che si vogliono riunire.

Newton facendo così un numero grande di esperienze giunse ai seguenti resultati generali:

1.° Due colori consecutivi dello spettro danno sempre col loro miscuglio una tinta intermedia; così il rosso e l'aranciato danno un rosso e un aranciato più o meno rosso o più o meno aranciato, secondo le proporzioni relative dei due colori che si mescolano.

2.° Due colori distanti nello spettro di un colore danno col loro miscuglio il colore che li separa; così il rosso ed il giallo danno l'aranciato, l'aranciato ed il verde danno il giallo, il giallo ed il blù danno il verde, il verde e l'indaco producono il violetto, il blù ed il violetto formano l'indaco.

3.° Due colori distanti di due ordini nello spettro danno uno dei colori che li separa, come s'avrebbe se fosse mescolato con una certa quantità di luce bianca.

Analisi de' colori de' corpi per mezzo del prisma. Dopo gli esposti fatti è facile intendere che è possibile d'imitare perfettamente tutti quei colori che troviamo in natura, componendo insieme i diversi colori semplici dello spettro, e che da tutti i colori naturali possono separarsi i colori semplici che li compongono. Egli è per mezzo del prisma che si può giungere ad analizzare i diversi colori naturali dei corpi. I fenomeni che allora si presentano sono variatissimi; ma ci basterà d'indicare le condizioni sotto le quali si producono ed il principio che serve a spiegarli.

1.° In mezzo ad un foglio di carta nera, situansi accanto l'una all'altra due piccole strisce di carta *r* ed *u*, l'una rossa e l'altra violetta di uno a due centimetri di lunghezza e di un millimetro di larghezza (*Tav.* VII, *Fig.* 194), poi si osservano con un prisma da qualche decimetro di distanza, tenendo gli spigoli del prisma paralleli alla lunghezza delle strisce. Si vede allora l'immagine deviata di ciascuna striscia, ma l'immagine *u* é assai più sollevata verso la cima del prisma, di quello che non lo sia l'immagine *r*. Ciò avviene perchè il violetto è più refrangibile del rosso; ed è a motivo della ineguale refrangibilità che attraverso del prisma vedonsi le due strisce separate, mentre che veggonsi unite e sulla stessa linea allorquando si osservano direttamente.

2.° Se invece di dipingere le due strisce, l'una in rosso e l'altra in violetto, si mescolano prima i due colori insieme per dipingere una sola striscia *p* col colore composto, che è una specie di porpora, allora attraverso il prisma questa striscia *p* produce due immagini distinte e separate *r* ed *u*, l'una rossa e l'altra violetta. Perciò la potenza refrangente del prisma separa i due colori elementari che compongono il porpora, e devia ciascuno di questi colori colle leggi che gli sono proprie, esattamente come se provenissero da un corpo luminoso di per sè stesso.

3.° I corpi che sono naturalmente bianchi non potendo trarre la loro bianchezza che dalla luce che li illumina, si può giudicare *a priori* che il loro colore deve riprodurre tutte le tinte dello spettro, nella stessa guisa che il porpora della precedente esperienza riproduce le tinte elementari che entrano nella sua composizione. Infatti una piccola striscia *b* di carta bianca guardata col prisma non dà più alcuna traccia di color bianco nella sua immagine *u r*, ma se è assai stretta dà in un modo perfettamente distinto, il rosso, l'arancio, il giallo, il verde, il blù, l'indaco ed il violetto, nello stesso ordine e nella stessa proporzione della luce solare.

4.° Una striscia assai grande *b'*, di carta bianca presenta apparenze diverse: verso la metà dell'immagine tutti i colori semplici sono sovrapposti e riproducono del bianco, ma nello stesso tempo la ricomposizione è incompleta verso i margini, e da un lato veggonsi delle strisce violette, indaco, blù e dall'altro rosse, arancione e gialle.

5.° Una larga striscia nera *n* sopra un fondo bianco, presenta attraverso il prisma, dei fenomeni che sono precisamente gl'inversi dei precedenti; il mezzo dell'immagine è nero, e partendo da questo mezzo le strisce colorite sono successivamente rosse, arancione, gialle in alto, e violette, indaco e blù verso il basso. Per rendersi conto di questa inversione, basta osservare che i colori resultano dallo spazio bianco che limita la striscia nera *o*: quelli di alto provengono dal fondo bianco che è immediatamente sopra ad *n*, e quelli di basso dal fondo bianco che è immediatamente al di sotto.

6.° Una striscia nera *n'* strettissima non dà più nero nel

mezzo; la sua immagine si compone semplicemente di strisce rosse e violette, al di fuori delle quali trovansi da un lato l'arancione ed il giallo, dall'altro l'indaco ed il blù. Accade come se il mezzo nero dell'esperienza precedente diminuisse sempre più fino al punto di sparire.

7.° Tutti i colori naturali possono essere analizzati collo stesso processo; vi sono non di meno due cause che impediscono che l'analisi sia perfettamente esatta: il fondo sul quale si dispongono non è mai assolutamente nero anche quando è una superficie accuratamente annerita con del nero di fumo; e gli oggetti colorati, come foglie, fiori, penne, scaglie, pietre preziose ec., hanno quasi tutti la proprietà di riflettere alla prima loro superficie una porzione della luce incidente senza imprimerle colorazione. Questa luce bianca più o meno intensa rimandata dal fondo e dall'oggetto stesso, produce nel traversare il prisma delle tinte estranee che si uniscono alle tinte proprie della materia che è sottoposta all'esperienza.

8.° I vetri colorati ed in generale i corpi traslucidi sono sottoposti all'esperienza in altra guisa: si osserva col prisma la luce solare che li ha traversati: se questa luce è sempre composta, il prisma ne separa i colori; se è semplice, il prisma non ne modifica nè la forma nè il colore. Non vi sono che certi vetri rossi antichi che diano della luce semplice.

La luce che possiamo produrre artificialmente, sia colla combustione, sia in generale colle azioni chimiche, fisiche o meccaniche, può essere analizzata collo stesso mezzo, e tutte le esperienze che sono state fatte su questo soggetto conducono fino ad ora alle due seguenti conseguenze:

1.° La luce artificiale, qualunque sia la sua origine, non contiene alcun colore semplice che non si ritrovi nella luce solare;

2.° Non esiste alcuna luce artificiale che riproduca i colori semplici della luce solare, colle loro intensità e le loro relative proporzioni. Il colore che domina in una luce artificiale è pure quello che domina nello spettro che si ottiene osservandola con un prisma. Così le fiamme rosse, gialle, verdi, blù danno degli spettri in cui il colore dominante è il rosso, il giallo, il verde, o il blù. Non di meno, quando si brucia

con un lucignolo di spugna dell'alcool allungato con acqua e contenente una soluzione del sal marino, si ottiene una fiamma gialla la cui luce è quasi della luce semplice: è con questo mezzo che Brewster compone la sua fiamma monocromatica, la quale può essere utile per rischiarare gli oggetti nelle osservazioni microscopiche, e per fare diverse esperienze di polarizzazione o di diffrazione.

Teoria di Newton della colorazione de' corpi. Per le descritte esperienze, Newton fu condotto ad ammettere che i colori naturali dei corpi resultino da una disposizione particolare delle loro molecole, per la quale sono resi atti a riflettere in maggior copia i raggi di un certo colore e ad assorbire gli altri. In questa teoria, i corpi realmente bianchi rimandano tutta la luce che ricevono; i neri assorbono tutto e non riflettono nulla, i corpi grigi assorbono un' egual proporzione di tutti i colori semplici; i rossi assorbono il colore complementario del rosso; i gialli il colore complementario del giallo ec. I corpi che riescono colorati per trasparenza, si lasciano attraversare dal raggio di cui hanno il colore, ed assorbono gli altri

Questa dottrina è principalmente confermata dai seguenti fatti, cioè: 1.° che un corpo, qualunque sia il suo colore alla luce bianca, presenta un sol colore quando è posto in un raggio colorito dello spettro, e precisamente il colore stesso del raggio; 2.° che la porzione dei raggi luminosi assorbita dalle molecole dei corpi cresce col numero di queste molecole; e difatti i vetri colorati, l'aria, l'acqua ec., prendono delle tinte tanto più cariche quanto più è grosso lo strato di questi corpi che la luce traversa.

Vi sono però certi corpi diafani che sotto un piccolo strato presentano un dato colore, mentre sotto uno strato più grosso ne presentano uno differente. Così se si empie un prisma di vetro di una soluzione di cloruro di cromo si vede la cima del prisma di un bel verde, mentre verso la base è di un rosso molto carico. Ciò significa che la rammentata soluzione si lascia traversare dai raggi verdi e rossi, ma più dai secondi che da' primi; ma avendo i raggi verdi una intensità molto maggiore dei rossi, sotto una piccola massa il colore dei pri-

mi predomina, mentre sotto una grande massa, i raggi verdi, essendo meno trasmessi dei rossi, il colore di questi prevale.

In ogni caso poi è necessario onde un corpo si colori, che i raggi abbiano penetrato la sua sostanza, onde l'assorbimento di una porzione di essi abbia luogo, senza di che la riflessione della luce bianca alla superficie sarebbe tanto maggiore della riflessione della luce colorata, che il corpo esposto alla luce sarebbe bianco. Ne avverrebbe ancora, se il colore dipendesse dalla sola riflessione alla superficie dei corpi, che il ridurli in polvere più o meno fine, l'assottigliarli più o meno non dovrebbero avere influenza sul colore; ed invece l'osservazione prova che la tinta dei corpi è tanto più leggiera quanto più sono presi in polvere fine ed in strati sottili.

Azioni calorifiche dello spettro solare. Esponendo dei termometri molto sensibili ai differenti colori dello spettro solare, si hanno tante temperature diverse. L'azione calorifica va aumentando dal violetto al rosso, e si estende anche al di là dello spettro. Berard trovò il massimo calore nel raggio rosso dello spettro. Herschell lo rinvenne al di là del rosso, cioè fuori dello spettro, ma queste differenze dipendono dalla natura del corpo che costituisce il prisma. Melloni ha provato che quanto più il corpo è diatermano, tanto più il massimo di calore si allontana dal giallo e si porta verso il rosso: con un prisma di sal gemma questo massimo è molto al di là del rosso. Decomponendo il fascio della luce solare mediante un prisma di sal gemma, e facendolo quindi passare attraverso uno strato d'acqua rinchiuso fra due lastre di vetro parallele, il massimo si ravvicina al rosso e penetra nello spettro a misura che s'aumenta la grossezza dello strato d'acqua. Per una grossezza di 4 millimetri il massimo è nel rosso; per una di 300 millimetri è nel giallo. Delle lamine di vetro di grossezza crescenti producono gli stessi effetti ma con minore energia.

Quando si sostituiscono allo strato di acqua, o alle lastre di vetro, delle lastre di vetro colorito, certi raggi coloriti sono assorbiti, e lo spettro luminoso è interrotto da delle strie più o meno oscure, mentre lo spettro calorifico non subisce alcun cambiamento corrispondente nella sua forma e nella sua po-

sizione, ma soltanto delle variazioni d'intensità in tutti i suoi punti. Infine se si fa passare il fascio attraverso l'acqua e ad un vetro verde colorito dell'ossido di rame, si giunge a fare sparire completamente lo spettro calorifico, ed il fascio luminoso concentrato da una lente in un punto in cui la luce di un giallo verdastro, ha quasi lo stesso splendore della luce diretta del sole, non vi produce calor sensibile ai termoscopi i più delicati. Resulta evidentemente da questi fatti che il calore e la luce del sole sono due cose distinte.

Azioni chimiche dello spettro. La luce solare è anche capace di dar luogo ad un gran numero di fenomeni chimici. Il cloro e l'idrogeno mescolati a volumi eguali, si combinano con detonazione allorquando il miscuglio è esposto all'azione dei raggi diretti del sole. I sali d'argento decompongonsi per la stessa azione ed anneriscono; l'acido nitrico ingiallisce, la sostanza verde delle piante si distrugge nell'oscurità e ricomparisce alla luce.

I varj raggi dello spettro non sono egualmente dotati di azion chimica. Quelli che ne sono dotati in maggior grado sono i violetti. Quest'azion chimica non si estende però al di là del raggio verde; i raggi gialli, arancioni e rossi sembrano esserne privi. Ciò può facilmente provarsi con un foglio su cui sia stato disteso uno strato bianco di cloruro di argento: vi si fa cader sopra lo spettro solare, e tosto vi si forma una macchia grigiastra, la quale stendesi dal verde fino al violetto ed anche al di là di questo limite. Il Seebeck ed il Wollaston hanno verificato che il cloruro d'argento annerisce un poco al di là del raggio violetto, cioè in un punto in cui non v'è nè luce nè calor sensibile. L'Hessler ha osservato che il massimo effetto chimico variava nello spettro a seconda della natura del prisma refrangente. Così per es. in un prisma fatto con acqua cadeva in mezzo al violetto; per l'alcool era presso al colore azzurro.

L'azion chimica dei raggi meno refrangibili dello spettro, non si mostra se non quando è già stata cominciata dalla luce bianca o dai raggi più refrangibili. Il giovine Becquerel ha potuto annerire una carta tinta col bromuro d'argento esponendola ai raggi rossi dello spettro, quando prima anche per

pochi istanti l'aveva esposta alla luce diffusa o ai raggi violetti. Quest'azione primitiva può essere appena sensibile, e si fa la esperienza coprendo il foglio con un altro che abbia delle piccole aperture. Si veggono allora, portando il foglio sui raggi rossi, comparire delle macchie nere corrispondenti a quei punti su cui la prima azione della luce ha avuto luogo. Il Becquerel perciò distingue due specie di raggi chimici, cioè gli *eccitatori*, quelli cioè posti nella parte più refrangibile dello spettro e i *continuatori*, che si trovano nella parte meno refrangibile. Se prima di fare incontrare alla luce delle carte preparate con cloruro e bromuro di argento, le si fanno attraversare dei vetri di vario colore, si osserva che alcuni di questi lascian passare i raggi continuatori ed altri i raggi eccitatori. Secondo alcune esperienze del Majocchi anche i raggi calorifici sarebbero capaci di continuare l'azion chimica eccitata dai raggi luminosi.

L'azion chimica della luce ha da varj anni ricevuto una importante applicazione, quella cioè dei così detti *disegni fotogenici*, dovuta alle infaticabili ed ingegnose ricerche di Niepce e di Daguerre. Chiamansi disegni fotogenici le immagini prodotte mediante l'azion chimica della luce su carte o su lastre metalliche ricoperte di uno strato di sostanza capace di essere alterata dalla luce. Si possono adunque preparare carte o lastre fotogeniche. Per preparare una carta che si colori rapidamente anche alla luce diffusa, il Daguerre consigliava di sceglierla senza colla e tuffarla nell'etere cloridrico debolmente acidulato, farla disseccare ed immergerla nuovamente in una soluzione di nitrato d'argento: si fa allora asciugare al bujo senza fuoco, e si conserva entro un libro per preservarla dall'azione della luce e dell'aria. Un foglio di carta così preparata, posto nel fuoco di una camera oscura riceve l'impronta degli oggetti che sopra vi dipinge la luce; ma gli oggetti chiari, come per es. il cielo, sono rappresentati in nero, mentre gli oggetti oscuri, come sarebbero gli alberi, sono rappresentati in bianco. Per impedire alla luce di alterare in seguito questo disegno, basta bagnare la carta in una quantità di acqua sufficiente a ben lavarla. Il Talbot invece prepara delle carte sensibilissime, tuffandole a più riprese alternativamente

in soluzioni deboli di sal marino e di nitrato di argento, avendo cura di lasciarle seccare ogni volta. Queste carte ricevono benissimo le immagini della camera oscura; in seguito lavansi in una soluzione concentrata di sal marino per arrestare l'azione ulteriore della luce. Ma esiste anche per queste l'inconveniente di riprodurre in nero gli oggetti chiari e viceversa. Queste prove in cui gli oggetti chiari vengono in nero, ed i neri in chiaro diconsi *negative*, e chiamansi invece *positive* quelle che riproducono gli oggetti coi chiari e gli scuri, quali sono in natura. Per ottenere le prove positive da una prova negativa, o per formare prove negative le quali a guisa di matrici producano poi quante prove positive si desiderano, bisogna preparare la carta come segue. Si spalma per mezzo di un pennello, con una soluzione di sal comune in acqua stillata, nella proporzione di 5 grani per 4 once di acqua, poi si asciuga con carta sugante; quindi preso un altro pennello si spalma con una soluzione di nitrato d'argento in acqua distillata nella proporzione di mezz'oncia del primo per 4 once della seconda; si asciuga nella stessa guisa e si conserva al bujo finchè non si vuole adoprare. Allora si pone sotto la matrice o sotto la stampa da ricopiarsi, e seccate ambedue fra due piani di vetro si espongono al sole. Bisogna però che al di sotto della carta che dee ricevere l'impressione si metta un foglio nero o un piano di lavagna per impedire l'azione della luce trasmessa da tergo. Quando l'azione del sole ha prodotto l'effetto, lo che si ricava facilmente dalla tinta di bistro cupo che prende sui lati scoperti, si mette per circa un quarto d'ora in una soluzione d'iposolfito di soda (un'oncia in 10 di acqua), e si lava a grand'acqua. È necessario aver moltissima cura che la luce del giorno non giunga sul disegno fotogenico, finchè non siasi reso insensibile colla immersione nella soluzione d'iposolfito; altrimenti le parti bianche anneriscono.

Oggidì il processo del Talbot è stato alquanto modificato. La carta per la matrice preparasi impregnandola di ioduro di argento, e dopo che è stata esposta per brevi istanti nella camera oscura all'azione della luce, prima che l'immagine vi si manifesti si tuffa in una soluzione di acido gallico, riscal-

dandola leggermente. Là dove l'ioduro d'argento avea subito scomposizione si forma un gallato d'argento che è nero, e perciò si ha un disegno negativo. Ma affinchè le parti chiare del medesimo non anneriscano alla luce si fa uso come nel processo di Talbot, di un bagno d'iposolfito di soda. La carta per le prove positive s'impregna di cloruro di argento, e per ottenere queste prove si pratica come nel processo di Talbot.

Il Niepce e il Daguerre osservarono che i bitumi, e massimamente i residui della distillazione degli olj essenziali erano sensibilissimi alla luce. Versata una soluzione alcoolica del residuo dell'olio essenziale di lavanda, sopra una lastra di vetro o di argento *plaqué*, si ottiene colla evaporazione uno strato bianco sottilissimo, atto a prendere dopo qualche ora l'impronta delle immagini nella camera oscura. Siccome queste immagini sono debolissime, si avvivano esponendole al vapor d'olio di petroleo. Esso penetra interamente la sostanza ove non ha avuto luogo l'azione della luce, e le dà una trasparenza tale che sembra netta affatto; al contrario dove la luce ha agito energicamente rimane il color bianco. Non di meno è assai difficile ottenere dei perfetti disegni con questo metodo.

Ma le migliori immagini fotogeniche sono quelle che ottengonsi senza bisogno di matrice, sulle lastre d'argento rese sensibili all'azion della luce mediante il vapor d'iodio o di bromo. Della fissazione di queste immagini discorreremo nel Capitolo degl'istrumenti ottici, dopo aver parlato della camera oscura, la quale applicata alla formazione delle immagini fotogeniche e fornita del corredo necessario a queste operazioni, ha ricevuto il nome di Daguerrotipo, in onore di Daguerre, a cui tale applicazione è dovuta.

Azione magnetica dello spettro. Morichini di Roma annunziò nel 1813 che delle sbarre di acciajo acquistavano le proprietà magnetiche per l'azione dei raggi violetti. Questo fatto è contestato da alcuni fisici che non son giunti mai a riprodurlo, e confermato da altri che l'hanno riprodotto. Nasce quindi il dubbio che tale azione del raggio violetto si manifesti soltanto in qualche particolar condizione, non ancora distinta, della luce solare.

Strie dello spettro, o *strie di Frauenhofer.* L'osservazione dello spettro per mezzo di lenti di un considerevole ingrandimento, ha fatto scuoprire al celebre ottico Frauenhofer di Monaco, che in mezzo alle strisce dei diversi colori che lo compongono, vi erano sparse in posizioni determinate delle strie o linee più o meno nere. Sono desse perpendicolari alla lunghezza dello spettro, di larghezza diversa, disegualmente distribuite nelle sette strisce colorate dello spettro, e se ne contano 600 nello spettro solare. Il loro numero e la loro posizione sono interamente indipendenti dall'angolo refrangente e dalla sostanza del prisma: esse non variano che coll'*origine* diversa dei fasci luminosi da cui si trae lo spettro. La luce dei pianeti dà le stesse strisce nere che presenta la luce solare; non è però così per la luce delle stelle di prim'ordine, e per la luce prodotta dalla scarica elettrica, dalla fiamma, o in generale dai corpi in combustione. Nello spettro di queste luci le linee nere sono diversamente distribuite, e nello spettro della luce elettrica, oltre alle linee nere ve ne sono anche delle bianche.

Acromatismo. Nello studio che abbiamo fatto delle lenti, noi abbiamo per maggior semplicità fatto astrazione dalla ineguale refrangibilità dei raggi luminosi. Le immagini prodotte dalle lenti, erano nella stessa ipotesi incolore, ma in realtà, essendo esse l'effetto della refrazione della luce, riescono più o meno colorate. Questo difetto è conosciuto sotto il nome di *aberrazione di refrangibilità.* Le lenti possono esser considerate come un insieme di prismi determinanti la decomposizione della luce inviata dagli oggetti. Nelle immagini che formano la colorazione è nel mezzo insensibile perchè la riunione dei diversi colori riproduce la luce bianca, ma sui margini formansi delle frange iridate che alterano grandemente le immagini. È questo un difetto capitale degl'istrumenti ottici, i quali sono composti da un insieme di lenti. È stata lungo tempo questione in ottica intorno alla possibilità di ottenere la deviazione dei raggi luminosi senza che emergano decomposti e colorati. Newton ammetteva che ciò fosse impossibile. Eulero invece, fino dal 1747, considerando che gli oggetti che vediamo ad occhio nudo, non sono mai alterati da colori estranei, pensò

che il nostro occhio fosse un istrumento capace di fare sparire l'aberrazione di refrangibilità, e che in conseguenza prendendo ad imitare la costruzione di quest'organo, nel quale la disposizione e la natura dei diversi umori è tale da fare sparire questo difetto, si potesse giungere ad ottenere degl'istrumenti che ne fossero parimente esenti. L'Eulero fece varie ricerche in proposito, ma fu il celebre ottico inglese Dollond, che alfine giunse a risolvere il problema, e a costruire degl'istrumenti ottici in cui la luce deviata non fosse decomposta. Questo resultato dicesi *acromatismo*, e chiamansi lenti *acromatiche* quelle che col loro insieme producono un tale effetto.

Per bene intendere la costruzione degl'istrumenti acromatici è necessario prima ben distinguere la dispersione dalla refrazione. La refrazione dei fasci luminosi è la deviazione che prova il raggio medio, cioè il verde; la dispersione è l'eccesso della refrazione del raggio il più refrangibile, cioè il violetto, su quella del raggio meno refrangibile, cioè il rosso; o in altri termini, è la distanza fra questi due raggi.

Se, come opinava Newton, la dispersione fosse proporzionale alla refrazione, l'effetto della dispersione non potrebbe esser distrutto senza distruggere nello stesso tempo l'effetto della refrazione, cioè a dire non vi sarebbe distruzione di colori che per dei raggi emergenti paralleli ai raggi incidenti, e in conseguenza la deviazione dei raggi non avrebbe più luogo. Così accadrebbe difatto collocando due prismi eguali e della stessa sostanza uno dietro l'altro disposti inversamente, un fascio di luce traverserebbe il doppio prisma senza scomporsi e senza esser deviato. Ma l'ipotesi di una dispersione proporzionale alla refrazione è lungi dall'esser confermata col fatto. Si osserva è vero generalmente che le sostanze che più refrangono la luce, sono anche quelle che la disperdono maggiormente; ma anche questo caso offre delle eccezioni. Così il potere dispersivo dell'essenza di trementina è più considerevole di quello del *crown glass* o vetro ordinario, mentre il suo potere refrattivo è minore.

Il *flint glass*, ossia il cristallo, ed il *crown glass* hanno presso che lo stesso poter refrattivo, ma il poter dispersivo del primo sta al poter dispersivo del secondo come 3 a 2. Vediamo

adesso come con queste due sostanze si possa formare un prisma composto che refranga la luce senza disperderla. È questa la condizione dell'acromatismo. Sia *A B C D* questo doppio prisma (*Tav.* VII, *Fig.* 195). Il prisma *A B C*, il cui angolo *A* è maggiore dell'angolo *C* del prisma *C A D*, è di vetro ordinario, il prisma *C A D* è di cristallo. Un raggio *S T* di luce solare che cade sulla faccia *A B* del prisma *A B C*, sarà refratto e disperso; i due raggi estremi, il violetto ed il rosso sono indicati da *T R* e *T V;* questi due raggi sono deviati verso la base del prisma; al loro entrare nel secondo prisma *C A D*, di cristallo, il cui angolo è voltato in senso opposto, ogni raggio sarà portato verso la base *A D*; ma siccome il poter refrattivo è press'a poco proporzionale all'angolo, ne resulta che il fascio sarà sempre inclinato verso la base *B C*; e poichè il prisma *C A D* ha un potere dispersivo assai maggiore di quello del prisma *A B C*, potrà benchè con un angolo più piccolo ricondurre verso la sua base *A D* il raggio violetto più del raggio rosso, in guisa che questi raggi uscendo dal prisma si sovrappongano e riproducano la luce bianca. Il calcolo insegna che è necessario impiegare dei prismi, i cui angoli sieno in ragione inversa dei poteri dispersivi.

Dopo ciò sarà facilissimo concepire delle lenti acromatiche. Si abbiano due lenti, l'una biconvessa, l'altra biconcava, unite insieme e aventi il medesimo asse *A A*; (*Tav.* VII, *Fig.* 196) sia *S T* un raggio di luce bianca; esso verrà disperso nella prima lente *M N* biconvessa, in guisa da dare i sette raggi colorati, gli estremi dei quali segnano le direzioni *T R* e *T V*. La seconda lente *M N P Q* fatta di cristallo, ed avente una curvatura più piccola, non potrà distruggere completamente la refrazione della prima lente, ed il raggio sarà inclinato verso l'asse; ma poichè il potere dispersivo del cristallo è molto maggiore di quello del vetro ordinario, il raggio violetto incontrerà il raggio rosso assai prima della loro uscita dalla lente; e poichè nel passaggio all'aria, la deviazione avrà luogo in senso opposto, è possibile di dare alle due lenti una tal curvatura che il punto di concorso sia sull'asse, e quindi che vi sia un sol fuoco: una lente così costruita dà delle immagini incolore. Ottenendo la sovrappo-

sizione dei soli raggi estremi dello spettro, come nei casi indicati, i colori dei raggi intermedj non spariscono completamente. Volendo fare sparire completamente anche i colori intermedj converrebbe fare uso di sette vetri diversi. Ma in generale il completo acromatismo non è necessario, e nel maggior numero dei casi basta la riunione dei due raggi estremi perchè la colorazione riesca appena sensibile.

Della visione.

Per bene intendere come i raggi luminosi che partono dagli oggetti vanno a formare le immagini su quella espansione del nervo ottico che chiamasi retina, dobbiamo succintamente descrivere quell'importante e perfetto istrumento per mezzo del quale si opera la visione, cioè a dire l'occhio.

Descrizione dell'occhio. L'occhio è di forma press'a poco sferica, e sta situato in una cavità del cranio che chiamasi *orbita.* L'invoglio esterno dell'occhio consiste in una membrana fibrosa di un tessuto solido, la quale si divide in due parti distinte; l'una posteriore ed opaca, che è detta *sclerotica*, l'altra anteriore, dotata di maggior curvatura, e trasparente che è la *cornea* (*Tav.* VII, *Fig.* 197). Questa, a motivo della sua trasparenza dà libero passaggio alla luce. Là dove la sclerotica si assottiglia per dare origine alla cornea, trovasi distesa nell'interno dell'occhio una membrana colorata e contrattile, che è *l'iride.* Questa membrana, a cui l'occhio deve il suo colore è formata di fibre muscolari che sono in parte circolari e in parte irraggiano dal suo centro. In questo punto l'iride è traversata da un foro circolare *s s'* che chiamasi *pupilla.* La pupilla è suscettibile d'ingrandimento e di restringimento; difatti si sa che si restringe quando l'occhio è esposto ad una viva luce, e si allarga tanto più, quanto meno è intensa la luce a cui è esposta: questo fenomeno è involontario e resulta dalla contrattilità propria dell'iride. Dietro all'iride trovasi un'altra membrana detta *cristalloide*, nella quale è incassato un corpo solido, *e e'* trasparente, di forma lenticolare, detto *cristallino.* Lo spazio compreso tra la cornea e l'iride costituisce la *camera anteriore dell'occhio*, la

quale mediante l'apertura della pupilla comunica colla camera posteriore, cavità situata tra l'iride e il cristallino. Queste due camere sono ripiene di un liquido simile all'acqua, e che perciò vien detto *umore acquoso.* La cavità dell'occhio, che è compresa fra il cristallino ed il fondo dell'occhio, contiene una sostanza gelatinosa distinta col nome di *umor vitreo.* Sulla faccia interna della sclerotica è distesa una membrana di color nero, detta *coroide*, la quale è pure ricoperta da una membrana sottile, semitrasparente, formata dalla espansione della parte midollare del nervo ottico, il quale s'impianta nel fondo dell'orbita. Quest'ultima membrana è la *retina.*

Dopo questa descrizione dell'occhio sarà facile intendere la strada che i raggi luminosi vi debbono percorrere per giungere fino alla retina.

L'occhio è in realtà un istrumento ottico, costituito da una specie di camera oscura munita di un sistema di lenti convergenti. Supponiamo di avere un oggetto l l' posto dinanzi all'occhio ad una conveniente distanza (*Fig.* 197). Da ogni punto di quest'oggetto partono dei raggi luminosi, i quali divergono come da un centro. Il fascio di raggi che parte dal punto l è refratto e reso meno divergente dalla cornea, e dall'umore acquoso; la sua parte centrale penetra dall'apertura della pupilla e cade sul cristallino; quivi tutti i raggi che lo compongono sono resi convergenti dalla lente biconvessa che costituisce il cristallino, e vanno a concentrarsi in un sol fuoco m sulla coroide e la retina, dove producono un'immagine reale del punto l. Lo stesso dicasi del fascio di raggi luminosi che parte dal punto l' e che va a concentrarsi nel fuoco m', situato parimente sulla retina. Perciò l'immagine degli oggetti si dipinge nel fondo degli occhi rovesciata e non diritta. È facile dimostrare che l'immagine che si forma nel fondo dell'occhio è realmente rovesciata; l'esperienza riesce benissimo con un occhio fresco di cui si assottiglia la sclerotica. Se si presenta ad un occhio così preparato una piccola fiamma, si vede, ponendosi di dietro, un'immagine rovesciata della fiamma dipinta sul fondo dell'occhio.

Una volta formatasi l'immagine dell'oggetto sulla retina, i filetti nervosi corrispondenti, messi in vibrazione da questa

luce concentrata comunicano il loro movimento al nervo ottico, che lo trasmette al cervello per farci avere la sensazione dell'oggetto stesso.

La funzione dell'umor vitreo si è quella di contribuire alla convergenza dei raggi che entrano nell'occhio. La materia nera sottostante alla retina, e che investe tutto il fondo dell'occhio e la parte posteriore dell'iride, serve ad assorbir la luce appena essa abbia traversato la retina. La qual luce se venisse a riflettersi verso altri punti della membrana guasterebbe la visione confondendo le immagini dipinte in fondo all'occhio; quindi gli uomini e gli animali affetti da albinismo, privi cioè di quel pigmento, hanno la visione imperfettissima. Di giorno vedono appena, e discernono assai bene gli oggetti soltanto alla luce crepuscolare.

Per completare lo studio del fenomeno della visione, ci resta ad esaminare alcune questioni importanti. La prima ricerca da farsi si è quella di sapere come avviene che l'occhio può vedere con eguale chiarezza tanto gli oggetti distanti pochi pollici, quanto quelli che gli stanno a grande distanza, sebbene sia noto che l'immagine di un corpo or s'allontana ed or si avvicina alla lente secondo che il corpo s'avvicina o s'allontana dalla parte opposta della lente stessa. Onde spiegare questa proprietà dell'occhio di adattarsi a vedere distintamente gli oggetti a differenti distanze furono immaginate differenti ipotesi. Si suppose da alcuni che il diametro dell'occhio possa variare dall'innanzi all'indietro sotto l'influenza della pressione dei muscoli che fanno muovere quest'organo, in modo da avvicinare la retina al cristallino, o da allontanarnelo, nel medesimo tempo che anche l'immagine si avvicina o si allontana. Altri attribuirono al cristallino una proprietà contrattile, per la quale possa assumere una forma più o meno convessa in modo da far sempre convergere i raggi sulla retina. Infine da alcuni si ammise che la chiarezza della visione a distanze molto differenti provenga non già dagli spostamenti della retina o del cristallino per cui l'immagine venga sempre a formarsi sulla retina, ma dalla piccolezza delle variazioni della distanza focale del cristallino a misura che gli oggetti si allontanano,

onde resulti che l'immagine conservi sempre una sufficiente chiarezza.

Dobbiamo inoltre esaminare come avvenga il giudizio della posizione, della distanza, della grandezza di un oggetto, dei suoi rapporti cogli altri che lo circondano, e qual è l'ufficio dei due occhi.

Giudizio della posizione degli oggetti. Abbiamo veduto che le immagini che si formano sulla retina sono rovesciate; come avviene adunque che noi vediamo gli oggetti diritti, vale a dire al rovescio delle loro immagini? Al dire di alcuni ciò proviene dall'abitudine che acquista l'occhio, coadiuvato dal senso del tatto, di giudicare della vera posizione degli oggetti. Altri suppongono che vedendo noi simultaneamente tutti gli oggetti rovesciati, nessuno di essi possa sembrarci a rovescio, non restandoci alcun termine di confronto. D'Alembert riteneva che siccome noi riferiamo il luogo degli oggetti nella direzione dei raggi luminosi che essi emettono, e siccome questi raggi incrociansi nel cristallino, dobbiamo vedere gli oggetti nella loro effettiva posizione.

Giudizio della grandezza degli oggetti. I raggi che partono dalle estremità di un oggetto e che giungono all'occhio di un osservatore s'incrociano all'apertura della pupilla, formando un angolo che dicesi *angolo visuale.* Questi raggi s'incrociano al loro incontro formando degli angoli eguali opposti al vertice, e giungono alla retina ove dipingono l'immagine dell'oggetto più o meno grande a seconda della sua distanza dall'occhio dell'osservatore. Supponiamo per esempio due oggetti *A B* e *C D* (*Tav.* VII, *Fig.* 198), posti ad ineguale distanza dall'osservatore. I raggi che partono dalle estremità di questi oggetti s'incontrano all'orifizio della pupilla *O*, e formano degli angoli visuali diversi *A O B*, *C O D*. Gli stessi raggi s'incroceranno al loro incontro e anderanno a formare sulla retina *M M* due immagini ineguali *G L* e *H K*. Si vede che l'immagine *G L* che rappresenta l'oggetto più vicino all'occhio dell'osservatore è più grande dell'immagine *H K* che rappresenta l'oggetto più lontano. Adunque due oggetti della stessa grandezza formano sulla retina delle immagini di diversa grandezza, secondo la loro distanza, o in altri termini secondo

l'angolo visuale sotto cui sono veduti. Quanto abbiamo detto ci spiega perchè gli oggetti lontani ci sembrano più piccoli di quello che sono realmente.

Il giudicare che facciamo della grandezza degli oggetti dall'apertura dell'angolo visuale, produce talora delle illusioni ottiche più o meno singolari. Ognuno sa, per esempio, che se ci troviamo all'estremità di un viale, le due fila di alberi che lo fiancheggiano sembrano convergere all'estremità opposta, e gli alberi sembrano successivamente diminuire di grandezza. Questo effetto proviene da ciò che le parti lontane del viale sono vedute sotto degli angoli visuali sempre più acuti; e se il medesimo si prolungasse molto, gli angoli visuali finirebbero per divenire sensibilmente nulli e le fila degli alberi parrebbero riunirsi. Parimente, allorquando osserviamo delle montagne molto lontane, poichè le vediamo sotto un angolo visuale molto piccolo, ci sembra che occupino poco spazio nel campo della visione; ma abituati come siamo agli effetti della prospettiva, sappiamo rettificare coteste apparenze illusorie, e giudicare convenientemente della vera grandezza degli oggetti.

Valutazione della distanza degli oggetti. Si chiama *asse ottico*, la linea lungo la quale l'occhio si dirige per vedere distintamente un oggetto. Noi giudichiamo della distanza di un oggetto dall'angolo che fanno gli assi dei due occhi diretti sopra uno stesso punto di quest'oggetto. Si è dato a quest'angolo il nome di *angolo ottico*. Il frequente confronto della distanza degli oggetti col movimento degli occhi, ci ha dato l'abitudine di giudicare della distanza dalle impressioni congiunte a questi movimenti. Egli è per questo che se noi adopriamo un solo occhio non possiamo determinare che molto imperfettamente le distanze, e non si potrà giungere con un sol occhio a determinarle con perfezione che dopo un lungo uso.

Quando gli oggetti sono molto lontani, allora gli assi ottici dei due occhi che li guardano sono sensibilmente paralleli. In questo caso non si ha più una regola sicura per determinare la loro distanza. Allora si ricorre a delle considerazioni più o meno ingannevoli, come per esempio lo splendore della luce, la nettezza dei dettagli, la grandezza degli oggetti stessi, se ci sono noti, ec.

Unità d'impressione prodotta nei due occhi. Benchè ogni oggetto che osserviamo abbia la sua immagine in ciascuno dei due occhi, noi non vediamo gli oggetti doppi. Ciò dipende perchè quando le immagini colpiscono dei punti corrispondenti delle due retine la sensazione è una sola. Non è più così quando i due assi ottici non concorrono più verso lo stesso punto; in questo caso le immagini non cadono più su delle parti corrispondenti delle retine, e la sensazione non è più unica. Difatti sappiamo che se noi premiamo uno dei nostri occhi, mentre guardiamo un oggetto, in modo da dargli una direzione diversa dall'altro, vediamo gli oggetti doppi. Negli accessi dell'ubriachezza, in cui l'uomo non è più capace di dirigere i suoi occhi, accade spessò di veder doppi gli oggetti.

Ufficio dei due occhi nella visione. In primo luogo l'ufficio dei due occhi nella visione si è quello di rendere questa funzione molto più chiara e distinta. Ognuno potrà facilmente convincersi con semplicissime esperienze fatte sopra sè stesso, quanto più lucenti e distinti appajono gli oggetti visti coi due occhi, di quello che con un solo. Ma dalle esperienze di Brewster risulta ancora una differenza essenziale tra la visione con due occhi e quella con un solo; vale a dire che soltanto coi due occhi si può avere una percezione netta del rilievo dei corpi, vale a dire delle loro tre dimensioni. Allorquando noi guardiamo con ambedue gli occhi un oggetto situato a poca distanza, dovendo i due assi convergere verso l'oggetto, ne resulta che la prospettiva cangia per ciascun occhio e che le due immagini sono sensibilmente ineguali; il che si può facilmente costatare guardando alternativamente un medesimo oggetto con ciascun occhio. Ora la percezione del rilievo sembra risultare dalla percezione simultanea di queste due immagini. Weathstone ha immaginato un apparecchio ingegnoso, da lui chiamato *stereoscopio*, che serve a render sensibile l'effetto della visione coi due occhi per l'estimazione del rilievo dei corpi. Quest'apparecchio consiste in una piccola scatola di legno, la cui parete superiore porta due tubi direttori degli assi ottici. Sopra il fondo della scatola vi sono due disegni che ciascun occhio vede isolatamente attraverso di un vetro convergente collocato nel tubo. Questi disegni rappresentano il medesimo oggetto, ma veduto

con una prospettiva differente, che è precisamente quella che corrisponderebbe all'asse ottico di ciascun occhio, se esso guardasse l'oggetto ad una piccola distanza. Ne segue adunque che guardando attraverso ai due tubi, ciascun occhio riceve la medesima impressione come se guardasse l'oggetto rappresentato, e ne risulta una percezione tanto distinta e viva del rilievo che l'illusione è completa e sorprendente.

Della persistenza delle immagini nell'occhio. La sensazione prodotta dalla luce sulla retina sussiste ancora un poco dopo che cessò di agire la luce, come lo dimostra l'arco luminoso che vedesi girando rapidamente un carbone acceso attaccato all'estremità di una fionda. La durata della persistenza della sensazione può misurarsi dal tempo che impiega il carbone rotante a ritornare in una data posizione. Secondo Plateau, essa è di circa $\frac{3}{10}$ di secondo. Non di meno la durata della impressione è tanto più lunga quanto più intensa è la luce. Così per esempio la palla di un cannone non si lascia vedere, e non forma la striscia luminosa di una stella cadente per la poca intensità della sua luce.

Moltissime sono le illusioni che derivano dalla persistenza delle immagini; l'ingrossamento delle corde in vibrazione, la scomparsa dei raggi di una ruota che gira rapidamente, la coda di luce delle stelle cadenti, il color bianco che mostra un disco rotante dipinto dei sette colori dell'iride, dipendono tutti da questa cagione. Se la luce è istantanea tutti questi fenomeni cessano, ed ecco perchè giudicammo istantanea la luce della scintilla elettrica nelle esperienze di Wheatstone.

Un apparecchio ingegnoso fondato sul fatto della persistenza delle impressioni luminose è il *fantascopo* di Plateau. Consiste in un disco di cartone sulla periferia del quale sono dipinte tante figurine identiche nel vestiario ed in tutte le loro forme, meno che nei movimenti: queste figurine sono di seguito disposte in modo da rappresentare le posizioni progressive di un dato esercizio, come sarebbe suonare un violino, ballare ec.; esse son vedute dall'osservatore attraverso tante aperture corrispondenti praticate in un altro disco di cartone, disposto sul medesimo asse del primo. Mettendo i due dischi a girare sullo stesso asse, l'occhio riceve l'impressione di

ognuna delle posizioni delle figurine per il passaggio di ogni apertura, e conserva questa impressione fino alla impressione della posizione che segue, di modo che l'occhio vede come una sola figura in movimento.

Dei colori accidentali. Quando i corpi cessano di apparirci coi loro colori naturali, si dice allora che prendono dei *colori accidentali.* I colori accidentali si distinguono poi in *passeggieri* e *permanenti.*

1.° Quando dopo aver guardato il sole per alcuni istanti, si chiudono gli occhi, l'immagine durante la sua persistenza prende diversi colori; quando dopo aver guardato un corpo vivamente colorito, si portano subitamente gli occhi sopra un corpo di un altro colore, si prova una sensazione complessa che si compone dell'immagine attuale del secondo corpo e della immagine persistente del primo; perciò il secondo corpo non è visto col suo colore naturale. Questi due esempj bastano a darci un'idea dei colori accidentali passeggieri, sui quali sono state fatte diverse teorie che a noi poco interessa esaminare; 2.° Quando un corpo colorito è sopra un fondo nero, appare col suo colore naturale, ma quando sullo stesso fondo nero si viene a porre presso di lui un secondo corpo di colore diverso, questi due corpi s'influenzano scambievolmente, i loro colori cambiano, e il nuovo colore prodotto deriva dalla sovrapposizione dei colori complementarj di quelli dei due corpi. Così se i due corpi sono l'uno violetto e l'altro aranciato, il colore accidentale che si produrrà sarà il verde, che è appunto il colore formato dal giallo e dal blù, complementarj l'uno del violetto, l'altro dell'aranciato. È questo un esempio di un colore accidentale permanente. Questi fenomeni sono stati studiati attentamente da Chevreul, il quale ne ha tratte delle applicazioni importanti per l'arte di accozzare i colori.

Presbitismo e miopismo. Diconsi *presbiti* quelli che hanno la vista molto lunga, cioè a dire che veggono distintamente gli oggetti lontani, e confusamente i vicini. Queste persone sono obbligate a porre a 50 e 60 centimetri di distanza un foglio che vogliono leggere. L'infermità da cui sono affette, e che viene ordinariamente coll'età, proviene dalla poca con

vessità della cornea che la rende meno atta a convergere i raggi luminosi. Per questo schiacciamento della cornea, il fuoco dei raggi che partono dal punto della visione distinta ordinaria anderebbe a farsi al di dietro della retina, e i raggi che penetrano nell'occhio colpiscono la retina prima di essersi riuniti in un fuoco. Onde questo fuoco si formi sulla retina conviene che un presbita tenga l'oggetto lontano. Il rimedio a questo difetto è l'uso delle lenti convergenti, le quali diminuiscono la divergenza dei raggi prima che entrino nell'occhio.

I *miopi* hanno invece la vista corta: per vedere distintamente gli oggetti hanno bisogno di avvicinarli molto all'occhio; in lontananza veggono molto confusamente. Questo difetto dipende da una curvatura troppo grande della cornea, che la rende molto atta a convergere i raggi luminosi, dimodochè i raggi che provengono dalla distanza della visione ordinaria formano il loro fuoco prima di giungere sulla retina. I raggi divergeranno nuovamente da quel fuoco, e sulla retina formeranno un immagine confusa. Il rimedio dei miopi consiste invece nell'uso delle lenti divergenti o concavo concave.

Distanza della visione distinta. Chiamasi così la distanza alla quale l'occhio vede distintamente e senza sforzo degli oggetti assai piccoli, come per esempio il carattere da stampa. Essa varia da 8 a 12 pollici secondo gl'individui, cioè da 22 a 32 centimetri.

Principali istrumenti ottici.

Microscopio semplice. Il microscopio semplice non è altro che una lente convergente a corto fuoco, che serve per vedere distintamente i piccoli oggetti, i quali se fosser posti alla distanza della vista distinta, cioè a circa 30 centimetri, manderebbero sulla retina una luce troppo debole e circoscritta in uno spazio troppo ristretto per produrre in quest'organo una immagine sufficientemente distinta in ogni sua parte. Volendo vedere l'oggetto con delle dimensioni più grandi basterebbe avvicinarlo molto all'occhio, lo che accrescerebbe l'angolo visuale, per cui un piccolo oggetto *a b* (*Tav.* VII, *Fig.* 199), si-

tuato vicinissimo all'occhio apparirebbe grande quanto un oggetto *a' b'* posto alla distanza della visione distinta, e compreso fra il prolungamento dei raggi visuali *o b*, *o a* fino a quella distanza. Peraltro l'immagine sarebbe molto confusa perchè la divergenza dei raggi partiti dall'oggetto sarebbe troppo grande al loro entrare nell'occhio, e quindi ciascun fascio nell'uscire dal cristallino non avrebbe il suo punto di concorso sulla retina, o abbastanza vicino ad essa. Una lente di un fuoco cortissimo posta fra l'occhio e l'oggetto diminuisce la divergenza dei suoi raggi in guisa da averne un'immagine distinta. Quindi il piccolo oggetto *a b* sarà veduto distintamente grande come *a' b'*. Dunque l'ufficio del microscopio semplice si è quello di permettere al nostro occhio di osservare distintamente in gran vicinanza i piccoli oggetti. Onde sieno veduti distintamente, conviene situarli al di là della lente ad una distanza poco minore della distanza focale principale. Per questa ragione essa li ingrandisce nel rapporto di *a b* ad *a' b'* o di *o d* a *o D*, cioè a dire approssimativamente nel rapporto della sua distanza focale principale, alla distanza alla quale l'occhio distingue nettamente gli oggetti. Perciò quanto più le lenti saranno a fuoco corto, tanto più ingrandiranno gli oggetti, perchè permetteranno di osservarli più da presso. Le lenti le più convesse sono adunque le migliori.

Si formano lenti di un gran potere d'ingrandimento fondendo l'estremità di un filo di vetro sottilissimo per formare una goccia che abbia un quarto di millimetro di grossezza. Questa goccia s'incassa in un foro fatto in una lamina di piombo. Si ottiene anche un microscopio di fortissimo ingrandimento introducendo una goccia d'acqua in un foro fatto in una foglia sottilissima di metallo, ma l'evaporazione presto la distrugge.

Camera oscura. Abbiamo già descritto la camera oscura nella sua maggiore semplicità; abbiamo detto che consiste in una stanza oscura chiusa da tutte le parti, e in cui la luce non entra che da un foro praticato in una parete. Si vide che gli oggetti esterni, i cui raggi penetravano per quel foro andavano a dipingersi rovesciati sulla parete opposta. La prima idea della camera oscura sembra dovuta a Leonardo da Vinci,

ma Giovan Batista Porta la perfezionò singolarmente aggiungendovi una lente incastrata nel foro per cui penetra la luce, la quale fa ottenere le immagini infinitamente più distinte. Della camera oscura se ne è fatto un istrumento assai comodo per disegnare delle vedute, copiandole sulle immagini degli oggetti stessi. Perciò si è ridotta ad una cassa di legno portatile alla quale si è adattata una lente convergente (*Tav.* VII, *Fig.* 200). Gli oggetti esterni vanno a dipingersi nel fondo della cassa in posizione rovesciata, ma possono benissimo raddirizzarsi le immagini ricevendole sopra uno specchio *m n* inclinato di 45°. L'immagine va allora a dipingersi in $a'' b''$ sopra un vetro spulito, di modo che un osservatore, il cui sguardo è diretto verso l'oggetto *a b* vede questa immagine in situazione diritta.

Se gli oggetti sono molto lontani formano le loro immagini al fuoco principale della lente; se sono solamente alla distanza di quindici o venti volte la distanza focale principale, formano le loro immagini ad una distanza sensibilmente più grande; allora convien portare il quadro un po' più lungi dalla lente o dall'obiettivo.

La grandezza assoluta delle immagini dipende dalla distanza focale principale secondo la regola seguente, cioè, che dal centro ottico della lente, l'oggetto e l'immagine sono veduti sotto lo stesso angolo. Perciò le immagini degli oggetti lontani sono sempre molto più piccole degli oggetti stessi.

Talvolta si dà un'altra forma alla camera oscura (*Tav.* VII, *Fig.* 201). In questo caso la lente è orizzontale, il suo asse è verticale, ed è posta nella parte superiore della cassa. In questa posizione non potrebbe dare che un'immagine dei punti del cielo che avvicinano lo *zenith;* ma lo specchio *e f* situato presso di essa, le somministra i fasci luminosi che vengono dagli oggetti terrestri situati più o meno lontani, secondo l'inclinazione che gli si dà.

Microscopio solare. Il microscopio solare è destinato a dare nella camera scura un'immagine reale e molto ingrandita di piccolissimi oggetti. Dicesi solare perchè è per mezzo della luce solare che s'illuminano gli oggetti che ci proponiamo di osservare. Si compone di uno specchio piano *P Q* (*Tav.* VII, *Fig.* 202),

posto al di fuori delle imposte di una finestra e situato in guisa da riflettere i raggi solari che ricevonsi in un tubo che fa parte dell'istrumento. All'origine di questo tubo è situata una lente x y, che raccoglie i raggi che le manda lo specchio P Q, e li concentra sull'oggetto che si vuole ingrandire, in modo da illuminarlo fortemente. Al di là di quest'oggetto trovasi una lente C D, disposta in modo che l'oggetto che si esamina, si trovi posto ad una distanza da questa lente, maggiore del suo fuoco principale. Allora si forma dall'altro lato della lente una immagine ingrandita dell'oggetto che va a dipingersi rovesciata in E F sopra un muro bianco o sopra una tenda distesa a pochi piedi di distanza nell'interno della camera, la quale deve essere molto oscurata pel successo dell'esperienza.

È facile intendere dall'ispezione della figura, che le dimensioni degli oggetti veduti al microscopio solare, aumentano in ragione dell'allontanamento del piano sul quale vanno a dipingersi, e tanto più quanto più corto è il fuoco della lente. Il vantaggio di questo istrumento consiste nel rappresentarci gli oggetti in dimensioni molto maggiori di qualunque altra specie di microscopio; ma è vero però che quanto più queste dimensioni ingrandiscono, tanto meno chiara diviene l'immagine. Si è riusciti non di meno ad ottenere dei forti ingrandimenti e delle immagini distintissime, concentrando la luce sull'oggetto per mezzo di lenti acromatiche. Un inconveniente grandissimo del microscopio solare si è il forte riscaldamento che soffrono gli oggetti posti in osservazione, per cui ben tosto si alterano. Donnè e Foucault hanno recentemente riparato a questo difetto adoprando per sorgente luminosa la fiamma del gas ossidrogeno spinta contro un pezzo di calce viva, ovvero la luce che dà una forte pila fra due frammenti di carbone.

Lanterna magica. Questo istrumento inventato dal Padre Kircher non è che un imperfetto microscopio solare, in cui la fiamma di una lampada rimpiazza la luce del sole, ed in cui gli oggetti sono delle figure grottesche dipinte su delle lamine di vetro con colori trasparenti. Si compone di una lampada P (*Tav.* VII, *Fig.* 203), d'uno specchio concavo M, e di due lenti convergenti C e C', il cui solo effetto è di rischiarare

convenientemente l'oggetto *O*, gettando sulla lamina di vetro un cerchio luminoso molto lucente; infine di una lente *L L'* che deve produrre le immagini sopra un quadro bianco. L'oggetto *O* essendo posto un poco al di là del fuoco principale della lente, deve avere la sua immagine reale ad una distanza più o meno grande dall'altro lato di questa lente. È questa immagine ingrandita che forma lo spettacolo della lanterna magica. Per dargli maggiore chiarezza, si ha cura di far le esperienze in una camera completamente oscura. Per osservare le immagini diritte si collocano gli oggetti dipinti rovesciati. Facendo variare con apposito meccanismo, che si fa muovere colla mano, la distanza dell'oggetto dalla lente, si ottengono delle immagini di grandezza diversa, di modo che di piccole che sono in principio si possono far divenire grandi a poco a poco, e viceversa di grandi si possono far divenire lentamente assai piccole, per cui l'osservatore situato nella oscurità, crede di vederle avvicinare o allontanare da sè. Si ha allora la così detta *fantasmagoria*. In questo apparecchio le figure invece di esser dipinte sul vetro trasparente come nella lanterna magica, lo sono invece sopra un vetro annerito ed opaco, laonde esse sole sono trasparenti, e la loro immagine projettata sopra un diaframma trasparente di mossolina, si fa visibile anche nell'oscurità.

Camera lucida. Questo apparecchio serve a tracciare l'immagine esatta d'un oggetto, di un edifizio, d'un paesaggio ec. Si compone essenzialmente di un prisma quadrangolare *a b c d* (*Tav.* VII, *Fig.* 204), di cui *b* è un angolo retto e *d* un angolo ottuso di 135°. La faccia *c b* è rivolta verso l'oggetto che si vuol disegnare, e riceve perpendicolarmente i raggi luminosi che ne emanano. Questi raggi nel loro ingresso nel prisma non subiscono alcuna deviazione, ma subiscono due volte la riflessione totale, prima in *r* e poi in *r'*, ed emergono infine perpendicolarmente alla faccia *a b* del prisma. Se l'occhio è posto al di sopra della faccia *a b* del prisma, in modo che il suo mezzo corrisponda presso a poco al vertice *a*, è evidente che colla metà della pupilla si vedrà per riflessione la immagine dell'oggetto *x* sul prolungamento di *e r*, cioè a dire al di sotto del prisma. Coll'altra metà della pupilla si potrà

vedere il foglio su cui l'immagine parrà projettata, e la punta della matita colla quale se ne vorranno tracciare i contorni e le parti. Il difetto principale della camera lucida di Wollaston consiste nelle successive apparizioni e disparizioni della punta della matita prodotte dai più piccoli movimenti dell'occhio, e che stancano grandemente la vista.

Giov. Batt. Amici ha immaginato una camera lucida in cui l'accennato difetto non esiste. La camera lucida dell'Amici consiste in uno specchio metallico, la cui superficie *A B* è inclinata di 135° sulla superficie *D C* di una lamina di vetro *D C E F* a faccie parallele (*Tav.* VII, *Fig.* 205). I raggi *S I* degli oggetti sono riflessi prima dallo specchio, poi dalla faccia anteriore del vetro, in modo da divenire perpendicolari alla primitiva loro direzione. L'occhio situato in *O*, scorge l'oggetto lontano in *Q*, alla superficie di un foglio, sul quale l'immagine può esser disegnata.

Microscopio composto. Nel microscopio composto sono impiegate due lenti; l'una per ingrandire l'oggetto, e che è denominata *obiettivo*, l'altra agisce come il microscopio semplice e dicesi *oculare.* Esaminiamo qual'è la strada dei raggi luminosi nel microscopio composto.

Supponiamo che un oggetto *A B* (*Tav.* VII, *Fig.* 206), sia posto dinanzi la lente *C D*, a una distanza un poco maggiore di quella del fuoco principale della lente. I raggi che partono dal punto *A* di quest'oggetto traverseranno il centro della lente, e seguiranno la direzione *A E L*; quelli che partono dall'altra estremità *B* del medesimo oggetto seguiranno la direzione *B E M*. Essi andranno adunque a formare dietro la lente in *M L*, sopra un vetro spulito, o su di una tela sottile, l'immagine rovesciata dell'oggetto *A B.* I raggi che continuano a propagarsi, incontrano l'oculare *G H*, situato in modo che la distanza dell'immagine *M L* dalla lente, sia un po'minore della distanza focale. In questo caso l'occhio di un osservatore posto alla distanza della vista distinta in *O* vedrà l'immagine virtuale di *M L* dallo stesso lato della lente in *F K.* Questa immagine, che è pure quella dell'oggetto *A B*, sarà rovesciata rapporto a quest'oggetto, e avrà delle dimensioni molto più considerevoli, poichè sarà vista sotto l'angolo visuale *F O K.*

L'ingrandimento totale prodotto da un microscopio composto è eguale al prodotto degl'ingrandimenti che resultano da ciascuna delle sue lenti. Se per es. l'obiettivo ingrandisce 5 volte in diametro e l'oculare 10 volte, l'ingrandimento sarà di 50 volte in diametro, e quindi di 2500 volte in superficie. L'ingrandimento è tanto più grande quanto più corto è il fuoco dell'obiettivo e dell'oculare; ma esso ha un limite, attesa la difficoltà di costruire regolarmente delle piccolissime lenti e la necessità di conservare all'oculare delle dimensioni assai grandi.

Il microscopio è generalmente composto di tre tubi infilati l'uno dentro l'altro (*Tav.* VII, *Fig.* 207). Al tubo superiore *A B* è fisso l'oculare *P R*; questo primo tubo chiamasi *porta oculare*; esso scorre a sfregamento nel tubo *C D*, che a sua volta può scorrere in un tubo più largo *F H*. Nel fondo di questo è fissata la lente obiettiva *m n*. Ecco perchè distinguesi col nome di porta *obiettivo*. In *I K* è situato un diaframma circolare di un diametro noto. Si fa muovere il porta oculare finchè non si vede distintamente il diaframma, che è allora situato al punto in cui dovranno dipingersi le immagini degli oggetti che si vogliono osservare. Sotto l'obiettivo è situato il porta-oggetti, consistente in un anello doppio destinato a ricevere la lamina di vetro *S T* su cui pongonsi gli oggetti. Questo porta-oggetti può alzarsi o abbassarsi a piacere per mezzo di una vite.

I tubi del microscopio sono internamente anneriti, onde i raggi obliqui che cadono sulla loro superficie vengano assorbiti. Le lenti sono acromatiche. Gli oggetti che voglionsi osservare debbono essere fortemente illuminati: se sono trasparenti s'illuminano per di sotto mediante uno specchio concavo *V*, mentre se sono opachi s'illuminano di sopra per mezzo di una lente convergente.

Volendo costruire un microscopio più comodo per l'osservatore, si pone l'obiettivo in *b'* verticalmente, e per mezzo del prisma *r* si fanno ripiegare i raggi orizzontalmente sopra l'oculare (*Tav.* VII, *Fig.* 208). L'osservatore con questa disposizione può star seduto.

Il microscopio il più perfetto che si conosca è quello del Prof. Amici, il quale è giunto a comporre l'obiettivo con tre lenti

acromatiche, composte ciascuna di tre vetri, le quali avendo una grande apertura posseggono al tempo stesso un gran potere amplificante. Descriveremo brevemente questo microscopio. Esso è rappresentato nelle *Figure* 209 e 210 della *Tav.* VII. L'obiettivo *E* è formato dalle tre lenti acromatiche ora accennate. L'oculare *A H* è formato di due lenti. Il tubo del canocchiale può essere disposto a piacimento orizzontalmente o verticalmente. Nel primo caso è a gomito, e porta nell'angolo il prisma rettangolare *P* destinato a ripiegare i raggi che partono dall'oggetto. L'oculare trovasi in *A*, ed un poco innanzi a questa v'ha un'altra lente *H*, detta oculare del Campani, la quale concentrando maggiormente la luce dà una maggior chiarezza. L'oggetto vien posto sul porta-oggetti *B* tra due laminette di vetro *C*. Questo portaoggetti può essere sollevato od abbassato mediante un piccolo rocchetto che ingrana in un'asta dentata, e che si fa girare mediante un bottone *D*. *M* è lo specchio che illumina l'oggetto per riflessione, se desso è trasparente; *L* la lente che vi concentra sopra la luce quando è opaco. Quando vuolsi disporre verticalmente il microscopio, si toglie il pezzo a gomito *G*, ed in suo luogo si dispone sull'obiettivo *E* il tubo *A* che porta l'oculare. Si può dare al microscopio anche una posizione inclinata. A questo scopo si toglie una chiavarda, che ferma l'apparecchio alla sua parte inferiore, e si fa girare tutto il sistema sopra una cerniera *a*, la quale collega il microscopio con una colonna cilindrica che gli serve di sostegno.

L'ingrandimento che ottiensi col microscopio si misura mercè quell'istrumento che vien detto *micrometro*. Consiste in una piccola lamina di vetro, sulla quale sono tracciate col diamante delle linee parallele distanti l'una dall'altra di $\frac{1}{10}$ o di $\frac{1}{100}$ di millimetro. Si colloca il micrometro dinanzi all'obiettivo, poi in luogo di ricevere direttamente nell'occhio i raggi emergenti dall'oculare *O* (*Tav.* VII, *Fig.* 211), si fanno cadere sopra una lamina di vetro a facce parallele *A* inclinata a 45°, e si colloca l'occhio al di sopra, in modo da vedere l'immagine delle linee del micrometro formata per riflessione sopra una scala divisa in millimetri che è tracciata sopra un diaframma *E*. Contando allora il numero di divisioni della scala

che corrisponde ad un certo numero di divisioni dell'immagine se ne deduce l'ingrandimento. Se per esempio l'immagine occupa sulla scala un'estensione di 45 millimetri e comprende 15 divisioni del micrometro, supponendo che l'intervallo di queste sia di $\frac{1}{100}$ di millimetro, la grandezza assoluta dell'oggetto sarà di $\frac{15}{100}$ di millimetro, e siccome quella dell'immagine è 45 millimetri, l'ingrandimento sarà il quoziente di 45 per $\frac{15}{100}$, cioè 300.

Canocchiale astronomico. Il canocchiale astronomico è il più semplice di tutti i canocchiali; esso è formato come il microscopio composto di due lenti, vale a dire un obiettivo ed un oculare, ma nel canocchiale astronomico l'obiettivo ha un fuoco lunghissimo, mentre nel microscopio ha un fuoco molto corto. Questo istrumento è intieramente destinato all'esame dei corpi celesti, e da ciò il suo nome. L'obiettivo *M* (*Tav.* VIII, *Fig.* 212) dà un immagine rovesciata *a b* dell'astro che si prende di mira, la quale è collocata tra l'oculare *N* ed il suo fuoco principale; e quest'oculare che fa l'effetto di un microscopio semplice, dà quindi un'immagine *a' b'* virtuale della immagine *a b* diritta ed assai ingrandita. Questo istrumento ha nel suo modo di agire molta analogia col microscopio, ma ne differisce perchè in quest'ultimo trovandosi l'oggetto assai vicino all'obiettivo, l'immagine si forma molto al di là del fuoco principale, ed è assai amplificata, di modo che l'ingrandimento è prodotto e dall'obiettivo e dall'oculare; mentre nel canocchiale astronomico essendo assai lontano l'oggetto che si guarda, i raggi incidenti sono paralleli, e l'immagine che si forma al fuoco principale dell'obiettivo è molto più piccola dell'oggetto. Adunque l'ingrandimento non può essere prodotto che dall'oculare, il quale a questo intento si fa molto convergente.

Canocchiale terrestre. Il canocchiale astronomico di sopra descritto presenta un inconveniente, il quale mentre è di poco valore per le ricerche astronomiche non ne permette l'uso nell'osservazione degli oggetti terrestri, poichè li fa vedere rovesciati. Nel canocchiale terrestre si raddirizzano le immagini aggiungendo altri due vetri. *S P* sia un oggetto terrestre (*Tav.* VIII, *Fig.* 213); esso darà un immagine rovesciata *P' S'* che l'occhio può vedere in *O*, sotto l'angolo *O*: l'istrumento così disposto

non sarebbe altro che il canocchiale precedente. Si aggiungono altre due lenti B ed E; la lente E è talmente disposta che il punto O ne è il fuoco; i due fasci luminosi partendo dal fuoco O sortiranno parallelamente all'asse; ma poichè i raggi che compongono ogni fascio sono paralleli, dovranno uscire dalla lente E convergenti, concorrere al fuoco K e dare una immagine raddirizzata $P'' S''$. Questa immagine è quella che si osserva coll'oculare e che è veduta sotto l'angolo $x\ y\ z$.

Canocchiale di Galileo. Il canocchiale astronomico fa vedere gli oggetti rovesciati; quello terrestre a motivo delle molte lenti assorbe una considerevole quantità di luce, dimodochè nè l'uno nè l'altro sono di un uso comodo per osservare gli oggetti terrestri poco rischiarati. Se si cambia la lente convergente del canocchiale astronomico in lente divergente, si ottiene un canocchiale che ha il doppio vantaggio di produrre poca perdita di luce e di far vedere gli oggetti nella loro posizione naturale. Siffatto è il *canocchiale di Galileo* o *canocchiale da teatro.*

Un oggetto lontano $P S$ (*Tav.* VIII, *Fig.* 214) anderà a formare la sua immagine in $P' S'$; se vi si pone un diaframma o se si riceve sopra un oculare, come nel canocchiale astronomico, si vedrà rovesciata; ma sarà raddirizzata, se prima dell'immagine $P' S'$ si fissa una lente divergente B. Allora ogni fascio sarà deviato ed allontanato dall'asse, talchè farà d'uopo che l'occhio sia posto vicinissimo all'oculare a fine di ricevere la luce. È evidente che l'oggetto parrà diritto, poichè il punto S' sarà visto in S'', e il punto P' in P''.

Il canocchiale di Galileo fu adoprato pel primo nelle osservazioni astronomiche. Con questo istrumento il celebre astronomo scoprì le montagne della luna, i satelliti di Giove e le macchie del sole.

Non si conosce l'epoca della invenzione dei canocchiali. Alcuni ne attribuiscono la scoperta a Ruggero Bacone nel secolo XIII, altri a Giov. Batt. Porta alla fine del secolo XVI; altri infine a Giacomo Mezio olandese, il quale dicesi che verso il 1609, combinando a caso due lenti, l'una convessa e l'altra concava, trovò che gli oggetti apparivano più grandi e più vicini.

Telescopj. Diconsi telescopj tutti quegl' istrumenti che servono a vedere gli oggetti lontani, e particolarmente gli astri. Il canocchiale astronomico ed il canocchiale di Galileo sono dunque telescopj. Ed infatti essi ebbero già questo nome e si distinguevano col titolo di *telescopj per refrazione* o *telescopj diottrici*; ma oggidì chiamansi particolarmente telescopj quegli apparecchi nei quali si approfitta insieme della riflessione e della refrazione per mezzo di specchi e di lenti, allo scopo di mostrare gli oggetti lontani. In tutti i telescopi v'ha un grande specchio concavo di metallo rivolto verso l'oggetto, e che ne produce una immagine reale e rovesciata. Uno dei più celebri è il *telescopio di Gregory* (*Tav.* VIII, *Fig.* 215). Il grande specchio concavo *M* è traversato nel suo centro da un'apertura circolare, per la quale passano i raggi che dirigonsi all'oculare. Vicino all'altra estremità del tubo trovasi un secondo specchio concavo *N*, pure di metallo, un po'più largo del primo e di un raggio di curvatura molto minore. Gli assi dei due specchi coincidono con quello del tubo. Se *O* è il centro di curvatura del primo, ed *a b* il suo fuoco, i raggi, che come *S A* sono emessi dall'astro, si riflettono su questo specchio e formano in *a b* un'immagine dell'astro rovesciata e piccolissima. Ora la distanza degli specchi e le loro curvature respettive sono tali, che il luogo di questa immagine trovasi tra il centro *o* ed il fuoco *f* dello specchio piccolo, d'onde risulta che i raggi, dopo essersi riflessi una seconda volta sullo specchio *N*, formano in a' b' un'immagine ingrandita e rovesciata di *a b*, e per conseguenza diritta, rispetto all'astro. Finalmente si guarda questa immagine con un oculare *P* a vetro semplice o doppio, il quale ha per oggetto d'ingrandirla di nuovo, e la fa vedere in a'' b''. Siccome gli oggetti che si osservano non sono sempre collocati alla stessa distanza, il fuoco dello specchio più grande e quindi quello del piccolo, può variare di posizione. Inoltre siccome la distanza della visione distinta non è la stessa per tutti gli occhi, si deve poter collocare a differenti distanze la immagine a'' b''. Perciò per mezzo di una grande vite, mobile mediante un bottone esterno, si può allontanare e avvicinare a piacere lo specchio piccolo al grande.

Nel *telescopio di Newton* (*Tav.* VIII, *Fig.* 216), invece del piccolo specchio concavo, v'ha uno specchio piano. che riceve il fascio dei raggi provenienti dall'immagine reale, sotto un angolo di 45°, in modo da proiettare quest'immagine lateralmente su di un oculare simile alla precedente.

Il *telescopio di Herschell*, che oggi è molto adoprato, altro non è che una modificazione di quello di Newton. In esso, si è giunti, col presentare lo specchio concavo all'oggetto in una posizione inclinata, a ricevere l'immagine di fianco all'asse e per conseguenza a potersi dispensare dello specchio piano (*Tav.* VIII, *Fig.* 217).

Daguerrotipo. Parlando dell'azione chimica della luce solare, si discorse dei *disegni fotogenici.* Si disse che questi possono fissarsi sulla carta e sulle lastre metalliche, ma che nel primo caso non si ottengono che delle prove negative, ossia delle matrici, da cui possono poscia ottenersi delle prove positive, mentre che servendosi di lastre di argento o di rame inargentato si possono ottenere immediatamente delle prove positive. A quest'uopo convien eseguire il metodo dell'ingegnoso Daguerre, e servirsi del suo apparecchio, conosciuto col nome di *daguerrotipo*, il quale non è altro che una camera oscura alquanto modificata e provvista del corredo necessario all'operazione. I disegni che ottengonsi sono in chiaro-scuro, ma con sì perfetta gradazione di tinte, ed una finezza tale di contorni da doversi veramente ammirare. Ecco in succinto il metodo che bisogna seguire per ottenere le immagini col *daguerrotipo.* Le lamine devono essere di rame ricoperte di uno strato sottilissimo di argento, e la loro grossezza non deve eccedere quella di una carta da giuoco. Il processo si divide in cinque operazioni principali. La prima consiste nel pulire la lamina per renderla capace di ricevere lo strato sensibile all'azione della luce; la seconda nell'applicare questo strato, lo che dicesi preparare la lamina; la terza nel sottoporla in una camera oscura all'azione della luce per ricevere l'immagine di un oggetto naturale; la quarta nel far comparire quest'immagine, la quale non è visibile quando si estrae la lamina dalla camera oscura; finalmente la quinta ha per oggetto di toglier lo strato sensibile alla luce, che continuerebbe

ad esser modificato da essa, per cui si verrebbe a distruggere il disegno ottenuto.

1.° Si pulisce la lamina coprendola con polvere impalpabile di pomice, e strofinandola poi con cotone imbevuto di olio. Si ripulisce dall'olio con cotone asciutto, e poi si stropiccia leggiermente con cotone debolmente inzuppato d'acido nitrico allungato. Si torna a darle uno spolvero di pomice e si strofina leggiermente con nuovo cotone. Così ridotta si scalda con una fiaccola a spirito. Giova talvolta ripetere due o tre volte l'acidulazione e lo strofinamento successivo.

2.° L'applicazione dello strato attaccabile dalla luce si fa assoggettando la lastra ad emanazioni di jodio alla temperatura ordinaria: si pone a quest'effetto su di una scatola, nel cui fondo sono sparse assai uniformente delle particelle di jodio. La lastra prende prima un color verdastro che passa al giallo pallido, e poi a un giallo dorato più o meno ranciorossastro, che è il colore conveniente. Fa d'uopo non oltrepassare questa tinta, poichè se la lamina prendesse un color violetto non sarebbe più sensibile all'azione della luce. Onde ottenere più rapidamente la formazione delle immagini si è proposto di sostituire alle emanazioni dell'jodio, quelle del cloruro d'jodio, o meglio quelle del bromo. In questo caso le immagini formansi in pochi secondi.

3.° Per ottenere l'immagine di un oggetto sulla lastra così preparata, si situa questa nella camera oscura, e si dispone l'apparecchio in faccia all'oggetto, a tal distanza che la sua immagine si formi distintamente su di un vetro spulito posto nel fondo della camera. Alzando una cateratta si scopre la lamina preparata che era stata posta al di dietro di essa per difenderla dalla luce, e si contano con precisione i minuti che bisogna tenerla all'azione luminosa. Bastano ordinariamente dai 5 ai 10 minuti, se fu adoprata la lastra semplicemente jodurata.

4.° Per fare apparire l'immagine sulla lastra, fa d'uopo esporla ai vapori del mercurio. Perciò scorso il tempo necessario perchè la luce dipinga sulla lamina l'immagine, e abbassata la cateratta della cassetta in cui è posta la lamina a ricever l'impressione della luce entro la camera scura, si

porta la lamina in una cassetta apposita e si espone con un'inclinazione di 45 gradi al vapor di mercurio. La cassetta ha un'apertura chiusa da un vetro, attraverso il quale con un cerino acceso può osservarsi il progresso dell'operazione, la quale dee farsi in una stanza in cui non penetri la luce diurna. Al momento in cui la lamina esce dalla camera oscura, non presenta alcuntr atto visibile; ma sotto l'azione del vapore di mercurio, comincia a poco a poco a comparire il disegno.

Questo effetto sembra che dipenda da ciò, che la luce ha modificato talmente le parti della lamina da essa più o meno colpite che il mercurio penetra più o meno fino all'argento, ove forma delle goccioline microscopiche di amalgama più o meno vicine fra loro, secondo che l'azione della luce ha scoperto più o meno l'argento dallo strato di joduro, il quale è rimasto inalterato là dove la luce non ha colpito. L'osservazione microscopica sembra confermare questo modo di spiegare il fenomeno. La durata della mercurazione dev'essere il tempo necessario per inalzare il mercurio a circa 80°, e per lasciarlo raffreddare fino a 45°, quando si è ritirata la lampada che serve a riscaldare la cassula.

5.° Infine per togliere alla lastra lo strato sensibile all'azion della luce, che rimase in quei punti che non furono colpiti da questo agente, bisogna lavarla prima con una soluzione di sal marino o di iposolfito di soda, e quindi con acqua stillata caldissima. Allora non restano al nudo che il mercurio e l'argento. Il primo forma i chiari e le mezze tinte, l'argento forma le parti scure.

In oggi si sono introdotti varj perfezionamenti al metodo indicato, ma non è del nostro istituto descriverli, essendosi espressamente pubblicati dei manuali di daguerrotipia, per coloro che desiderano familiarizzarsi nell'arte di eseguire dei perfetti disegni fotografici.

Doppia refrazione, polarizzazione e diffrazione.

Oltre le proprietà che abbiamo studiato, la luce ne possiede altre d'una natura affatto particolare, le quali abbenchè siano più interessanti sotto il rapporto scientifico che sotto quello

pratico, non possono per altro essere intieramente taciute in un corso di fisica. Perciò ne daremo alcuni cenni (1). Queste proprietà sono la *doppia refrazione*, la *polarizzazione* e la *diffrazione*.

Doppia refrazione. Vi sono certi corpi cristallizzati i quali godono della proprietà di dividere il raggio refratto in due parti ben distinte, una delle quali segue la legge della refrazione ordinaria, ed è il *raggio ordinario*; l'altra, che costituisce il *raggio straordinario*, segue una strada assai diversa. Di questa proprietà godono in generale i corpi cristallizzati, la cui forma non è nè un cubo, nè un ottaedro. *Lo spato d'Islanda* o calce carbonata romboedrica gode molto distintamente tale proprietà, talchè se attraverso un cristallo di questo corpo si osserva una linea nera, o un corpo qualunque, si veggono raddoppiati. Il raggio straordinario devia dal cammino rettilineo anche quando il raggio incidente è perpendicolare alla faccia del cristallo. L'altro segue la direzione del raggio incidente. Inoltre il raggio straordinario esce sempre dal piano d'incidenza, ed al variare dell'incidenza non presenta la costanza del rapporto fra il seno dell'angolo d'incidenza e il seno dell'angolo di refrazione.

Nei cristalli dotati di doppia refrazione v'ha una linea, la quale dicesi *asse ottico* o *asse di refrazione*, che riunisce i due angoli triedri ottusi, lungo la quale non accade la doppia refrazione, ma bensì la refrazione semplice. Il piano condotto per l'asse ottico perpendicolarmente ad una faccia qualunque del cristallo, dicesi *sezione principale*, e quando un raggio incidente è diretto per questa sezione, il raggio straordinario si mantiene nel piano d'incidenza al pari dell'ordinario.

Polarizzazione. Così chiamasi una disposizione particolare della luce che viene impressa ad un raggio luminoso dalla refrazione o dalla riflessione, quando avvengono in certe particolari circostanze; disposizione che rende il raggio suscettibile

(1) Sarebbe stato nostro desiderio sviluppare sufficientemente nel nostro Trattato, anche questa parte importantissima dell'ottica; ma avremmo con ciò di troppo oltrepassato i limiti stabiliti al presente lavoro e resa l'opera molto voluminosa.

di certe proprietà che conserva dopo che si sono in esso prodotte.

Tutti i cristalli dotati di doppia refrazione polarizzano la luce; così i raggi che escono da un cristallo di carbonato di calce godono di certe proprietà che non possedevano prima di averlo traversato. Se per esempio si presenta sulla loro strada un secondo cristallo dotato di doppia refrazione, e la cui sezione principale sia parallela o perpendicolare a quella del piano, i due raggi non proveranno più la doppia refrazione nel traversare questo secondo cristallo, mentre dei raggi che non avessero traversato il primo cristallo sarebbero nelle stesse circostanze divisi in due. Inoltre, ciascuno dei raggi polarizzati, nel passare attraverso una sottilissima lamina di mica, di vetro e di solfato di calce produrrà un'immagine colorata, il cui colore cangerà a seconda delle circostanze, mentre un raggio ordinario non avrebbe prodotto che una immagine bianca.

Ma non è solo colla refrazione che si può polarizzare la luce; la riflessione può imprimere ad un raggio luminoso la stessa proprietà, purchè avvenga sotto un certo angolo che è costante per una stessa sostanza riflettente, ma variabile da una sostanza all'altra. La sostanza che meglio polarizza la luce per riflessione è il vetro, e l'angolo sotto cui questa polarizzazione accade è quello di 35°, 25': per questo genere di esperienze conviene servirsi di lamine di vetro ben levigate ed annerite sulla superficie inferiore, mentre la riflessione si opera sulla superiore. I metalli polarizzano molto meno completamente la luce del vetro, e l'angolo di polarizzazione è più piccolo.

Una raggio polarizzato per riflessione possiede le stesse proprietà di quello che lo è per refrazione: così non si divide in due altri raggi, quando traversa un cristallo dotato di doppia refrazione, e la cui sezione principale è parallela o perpendicolare al piano di riflessione; esso produce una immagine colorita nel traversare una sottil lamina di solfato di calce o di mica.

Una delle più rimarchevoli proprietà di un raggio polarizzato, è la seguente. Se si riceve un raggio polarizzato per ri-

flessione sopra una seconda lamina di vetro, simile a quella da cui é stato riflesso, e si fa cadere su questa seconda lamina sotto l'angolo d'incidenza di 35°, 25', che è l'angolo di polarizzazione; questo raggio sarà intieramente riflesso dal secondo specchio di vetro, se i due piani di riflessione sono paralleli: non sarà minimamente riflesso, e tutta la luce sparirà assorbita da questo secondo specchio, se i piani di riflessione sono perpendicolari fra loro. Per mezzo di un apparecchio semplicissimo, composto di due lamine di vetro annerite sulla superficie non riflettente, l'una fissa e l'altra mobile, si può far girare quest'ultima in guisa, da dare ai due piani di riflessione le inclinazioni le più diverse fra loro, conservando però sempre in tutte queste relative posizioni dei due piani, lo stesso angolo di 35°, 25' per l'angolo d'incidenza del raggio su ciascuno degli specchi. Per mezzo di questo apparecchio si verifica facilmente la curiosa proprietà dei raggi polarizzati che abbiamo annunziata.

Diffrazione e principio delle interferenze. Quando si fa passare un raggio di sole attraverso un piccolo foro, qual sarebbe quello che otterrebbesi forando con un ago da cucire una sottile lastra metallica, e si riceve ad una piccolissima distanza dal foro lo stesso raggio solare sopra un diaframma trasparente, si vede dipingersi sul medesimo un cerchio bianco luminoso molto più grande di ciò che dovrebb'essere alla distanza in cui si è dal foro, e quel cerchio bianco è circondato di cerchi colorati più o meno numerosi, e più o meno sfumati. Lo stesso fenomeno producesi facendo passare il raggio solare attraverso una sottilissima fessitura: in questo caso invece di cerchi coloriti sono delle linee colorite che trovansi poste da ogni lato dell'immagine bianca della fessitura. Si è chiamata *diffrazione* della luce questa specie di espansione che subisce nel traversare dei piccolissimi orifizi. Grimaldi e Newton, che furono i primi ad osservare questa singolare proprietà della luce, l'attribuirono all'influenza esercitata dai margini dell'orifizio sui raggi luminosi, per cui dessi venivano respinti e decomposti.

Non di meno la seguente esperienza che legasi intimamente alle precedenti, e che in conseguenza deve dipendere dalla

stessa causa, ha fatto considerare i fenomeni della diffrazione sotto un aspetto affatto diverso. Se si pone sulla strada di un raggio solare introdotto in una camera oscura un filo finissimo e molto teso di una sostanza qualunque, e si riceve ad una certa distanza sopra un diaframma l'ombra che projetta, si vedrà quest'ombra molto più grande di ciò che dovrebb'essere, e apparirci al tempo stesso marginata esternamente da strie alternativamente luminose ed oscure, e le luminose saranno colorite. Ma ciò che v' ha di più singolare, e che era sfuggito a Newton e a molti altri osservatori dopo di lui, si è che l' interno stesso dell'ombra del filo presenta pure delle strie luminose e colorite. Quest'ultimo fenomeno rende inammissibile la spiegazione della diffrazione colla influenza esercitata dai margini dei corpi sui raggi luminosi che vi passano a contatto, imperciocchè dovrebbe ammettersi che questa influenza fosse insieme repulsiva ed attrattiva, poichè vi sono delle strie luminose esterne all'ombra e ve ne sono anche delle interne. Altronde numerose esperienze fatte con dei corpi di forma e di natura diversa, mostrando che il fenomeno era indipendente da questa forma e da questa natura, vennero ad aggiungere nuove prove a quelle che già si aveano della falsità della proposta spiegazione.

Le ricerche di varj fisici, e specialmente quelle di Young e di Fresnel, han dimostrato che è solo alla mutua influenza che esercitano gli uni sugli altri i raggi di luce, che sono dovuti i fenomeni della diffrazione. Questa influenza costituisce il principio delle *interferenze*, che può essere enunciato come segue: se due raggi di luce che provengono dalla stessa sorgente e che seguono una direzione non parallela, ma un poco inclinata fra loro, hanno percorso un cammino esattamente della stessa lunghezza, al punto in cui s' incontrano, si aggiungono l'uno all'altro, e producono in quel punto una luce doppia; ma se uno dei raggi ha percorso un cammino di una quantità infinitamente piccola più corta dell'altro, questi due raggi invece di aggiungersi l'uno all'altro si distruggon fra loro, come due palle d'avorio che venissero ad incontrarsi si respingerebbero, e il punto d'incontro rimane perfettamente oscuro. Se la differenza delle strade percorse da due

raggi è due volte, quattro volte, sei volte, in una parola un numero *pari* di volte questa stessa minima quantità, i raggi si aggiungono come nel caso in cui le strade percorse sono eguali; se la differenza è di 3, 5, ec., ossia un numero *dispari* di volte questa minima quantità, i raggi si distruggono come quando la differenza non era che di una volta questa minima quantità. La determinazione di questa quantità non si è potuta ottenere che indirettamente, ma con mezzi esattissimi, talchè si è giunti a costatare il suo valore con molta precisione. Questo valore è diverso per ciascuno dei raggi coloriti che compongono la luce bianca. Pel raggio rosso essa è eguale a 310 millionesimi di millimetro; e pel raggio violetto a 212 millionesimi di millimetro: per gli altri raggi semplici è intermedia fra i due valori indicati.

Il principio delle interferenze da noi ora esposto ha permesso di spiegare un numero considerevole di fenomeni che presenta la luce, e particolarmente quelli della diffrazione. Infatti le strie alternativamente oscure e luminose che si osservano nei fenomeni di diffrazione, provengono unicamente dalla mutua influenza che esercitano gli uni sugli altri i raggi diretti che passano presso i bordi dell'ostacolo e i raggi riflessi in tutti i sensi dai medesimi bordi. Si può anche direttamente manifestare questa influenza con un'esperienza di Fresnel. Due specchi metallici sono disposti l'uno presso l'altro facendo fra loro un angolo molto ottuso (*Tav.* VIII *Fig.* 218). Vi è in *a* una lente di foco cortissimo che concentra in *f* un fascio di raggi. Questo fascio che diverge dal foco *f* incontra i due specchi, e cade in parte sopra uno, in parte sopra l'altro. I raggi riflessi s'incontrano nello spazio nei punti *b*, *s*, *b'*, *s'* ec., ed in questi punti si veggono delle frange alternativamente oscure e luminose, le quali riescono più distinte osservate con una lente o con un canocchiale. L'azione degli orli degli specchi è di certo tolta in questa esperienza, e rimane così indubitato che la sola cagione della produzione delle frange sia l'influenza reciproca dei raggi che s'incontrano sotto una certa inclinazione.

Alla difficoltà di spiegare il principio delle interferenze nella teoria della emissione, è dovuto l'abbandono di questa

teoria e l'accettazione dell'altra delle *ondulazioni* colla quale facilmente si spiega. Si ammette infatti che le piccolissime onde luminose che vengono a riscontrarsi mentre si propagano nella stessa maniera si aggiungano per produrre un effetto doppio, mentre venendosi a riscontrare quando si propagano in modo diverso si distruggano. Colla stessa teoria si spiegano i singolari fenomeni di colorazione che si osservano quando la luce traversa delle sottilissime lamine trasparenti, quali sono per esempio quelle delle bolle di sapone ec. ec. I colori iridati di molti minerali, della madreperla e delle penne di alcuni uccelli si devono a dei fenomeni di simil natura.

Sorgenti della luce.

Fra i corpi celesti non v'ha che il sole e le stelle che sieno luminosi per sè stessi; i pianeti lo sono soltanto per riflessione. La luce che la terra riceve dal sole è molto maggiore di quella che riceve dalle stelle, e ciò probabilmente a motivo della maggior vicinanza del sole.

Ma indipendentemente dalle indicate sorgenti di luce, le quali sono permanenti, ne esistono anche altre soltanto accidentali, alcune delle quali ci sono fornite dalla natura, e non si riesce a riprodurle, ed altre possono essere da noi prodotte a volontà. Queste ultime sono l'elettricità ed un alta temperatura. Noi abbiamo già sufficientemente parlato della prima; daremo soltanto alcuni dettagli della seconda. Sembra che in generale ogni volta che la temperatura di un corpo oltrepassa i 500°, esso divenga luminoso: perciò tutti i mezzi artificiali proprj a svolgere del calore, quando potranno raggiungere od oltrepassare il limite di temperatura indicato, produrranno nello stesso tempo uno svolgimento di luce. Così la confricazione, la percussione e le azioni chimiche sono altrettante sorgenti di luce. Fra le azioni chimiche, la combustione è la sola che s'impieghi a produrre della luce artificiale.

I corpi fissi, cioè a dire quelli che rimangono solidi o liquidi alle temperature che possiamo produrre, non svolgono che poca luce colla loro combustione nell'aria, quand'anche i pro-

dotti della combustione sono volatili. I gas producono ordinariamente molta luce bruciando, allorchè tengono in sospensione delle particelle solide. Tale si è il caso dell'idrogeno carbonato, il quale bruciando è lucentissimo, a motivo delle particelle di carbone che tiene sospese nella sua fiamma e che fortemente riscaldate divengono luminosissime. Il gas idrogeno carbonato è realmente l'unico corpo di cui ci serviamo di continuo per produrre della luce artificiale. Bruciando dell'olio, del sevo, della cera, e delle resine è sempre questo gas che arde. Il gas che serve alla illuminazione delle città e che si raccoglie nei gasometri è lo stesso idrogeno carbonato, il quale preparasi precedentemente colla distillazione del carbon fossile. Una sorgente di luce molto viva è la combustione di un miscuglio dei gas ossigeno e idrogeno; ma lo splendore di tal fiamma addiviene immensamente maggiore, allorquando si dirige il getto dei gas infiammati sopra un cilindretto di calce ben disseccata. Questa luce è sì abbagliante che può paragonarsi a quella del sole.

Esiste un certo numero di corpi che emettono della luce in particolari circostanze, senza che questa emissione sia accompagnata dall'alta temperatura che la combustione produce. Tale si è il caso del fosforo, che attesa la sua lenta combustione nell'aria è luminoso nell'oscurità, senza che dia segno al termometro del minimo inalzamento di temperatura. Questa particolar luce dicesi *fosforica.*

Il legno marcio ed i pesci in putrefazione tramandano pure una luce fosforica, la quale sembra parimente dovuta ad una lenta combustione. Certi corpi possono divenire fosforescenti per mezzo del calore, dell'insolazione, della confricazione o della percussione. Il solfato di barite o spato pesante, detto anche fosforo di Bologna, divien luminoso nell'oscurità dopo essere stato riscaldato su dei carboni ardenti. Il così detto fosforo di Canton, che è un miscuglio di gusci d'ostrica calcinati e di zolfo, gode della stessa proprietà, ma ad un maggior grado. Quando queste sostanze hanno perduto la fosforescenza la riacquistano coll'esposizione per un certo tempo ai raggi solari. Anche la scintilla elettrica è capace di far riacquistar loro simile proprietà.

Il diamante, il carbonato ed il solfato di calce divengono fosforescenti nell'oscurità colla semplice insolazione. Lo zucchero in pani risplende nell'oscurità per mezzo della confricazione; alcuni sali, come per es. il solfato di calce, fosforeggiano nel cristallizzare. Infine vi sono anche degli animali che mentre sono viventi sono capaci di emettere della luce nell'oscurità. Tali sono per es. certi vermi e degli insetti coleotteri del genere *Lampiris*, a cui appartiene la nostra lucciola (*Lampiris Italica*). Varj naturalisti, fra i quali Spallanzani e Carradori si occuparono d' indagare l'origine della luce che questi esseri emettono, e non ha guari il Matteucci istituì delle accurate indagini su questo soggetto, dalle quali resulterebbe che la luce delle lucciole dipenda da una lenta combustione paragonabile a quella che subisce il legno marcio. Vi sono anche dei molluschi microscopici dotati di fosforescenza, ed è alla presenza di miriadi di questi animaletti che devesi la luce che si mostra talvolta su dei grandi tratti della superficie del mare.

Fenomeni Meteorologici dipendenti dalla luce.

Fenomeno del Miraggio. Accade talvolta in certe particolari circostanze dell'atmosfera che osservando degli oggetti in lontananza, questi diano varie immagini, diritte, oblique o rovesciate, e più o meno alterate nei loro contorni. L'apparizione di queste immagini senza visibile superficie riflettente che le produca, costituisce il fenomeno del *Miraggio*. Questo fenomeno si produce di sovente nelle pianure dell'Egitto. Il suolo del Basso Egitto forma una vasta pianura sulla quale si spandono le acque del Nilo nel tempo delle inondazioni. Sulle rive del fiume ed anche ad una grande distanza verso i deserti scorgonsi di tratto in tratto delle piccole colline sulle quali s' inalzano dei villaggi e delle case. Nei tempi ordinarj l'aria è calma e purissima; al levar del sole gli oggetti lontani si distinguono con una perfetta nettezza, e l'osservatore può abbracciare collo sguardo un vasto orizzonte. Quando però il calor del giorno si fa sentire, quando la terra è scaldata dal sole, gli strati inferiori dell'aria partecipano dell'alta tempe-

ratura del suolo, numerose correnti si stabiliscono, per cui l'aria va soggetta ad un tremolìo ondulatorio sensibilissimo all'occhio, e tutti gli oggetti lontani non danno che immagini mal definite, le quali sembrano rompersi e ricomporsi ad ogni istante. Questo fenomeno che osservasi nei nostri climi nelle giornate più calde d'estate, e che dipende dalla refrazione che i raggi luminosi emananti sugli oggetti subiscono nel loro passaggio attraverso a strati d'aria che ad ogn'istante cambiano di densità, non è anche il fenomeno del miraggio. Se alcun soffio non agita l'aria e se i suoi strati riposanti sulla pianura restano perfettamente immobili mentre si scaldano in contatto della terra, allora il fenomeno del miraggio si produce con tutta la sua magnificenza: l'osservatore che guarda in lontananza prosegue a distinguere l'immagine diretta delle eminenze, dei villaggi e di tutti gli oggetti un poco elevati; ma al di sotto di questi oggetti vede la loro immagine rovesciata, e cessa di vedere il suolo stesso sul quale riposano. Perciò tutti gli oggetti elevati appariscono come se fossero in mezzo ad un immenso lago, e l'aspetto del cielo completa questa illusione, giacchè vedesi come se fosse riflesso sulla superficie di un'acqua tranquilla. A misura che uno si inoltra scuopre sempre nuovo suolo ardente, là dove credeva esistere un'estensione di acque.

Questo fenomeno fu spesso osservato dall'armata francese durante la spedizione di Bonaparte nell'Egitto. Le prime volte i soldati assetati credevano di andare incontro ad un lago, e spinti dal desiderio di dissetarsi, a misura che avanzavano restavano crudelmente delusi. Fu il celebre Monge, il quale faceva parte della spedizione, che scuoprì la causa del fenomeno, e ne diede tosto la spiegazione. È desso, come andiamo a spiegare, un giuoco particolare di refrazione.

Supponiamo che la linea *A B* (*Tav.* VIII *Fig.* 219) rappresenti la superficie orizzontale del suolo fortemente riscaldato dai raggi del sole. L'esperienza ha dimostrato che in tal circostanza, in conseguenza dello estremo calore del terreno, che riscalda costantemente lo strato d'aria che gli è a contatto, la temperatura dell'atmosfera vicina alla terra va diminuendo a misura che c'inalziamo, e conseguentemente la sua densità va

crescendo nel medesimo verso. Lo stesso accade del suo poter refrangente; il quale partendo da una certa altezza, va continuamente diminuendo a misura che ci avviciniamo al suolo. Noi possiamo, sotto questo rapporto, concepire l'aria vicina alla terra divisa in una serie di strati successivi *C C' C''* ec. Ciò posto immaginiamo un oggetto elevato, come per es. un albero, e supponiamo un osservatore situato ad una certa distanza da tale albero, in *O*. Fra i raggi che il punto *P* dell'albero manderà in tutte le direzioni, consideriamo il raggio *P I* che giunga obliquamente sullo strato d'aria *C*; essendo questo strato meno denso di quello che lo precede, il raggio nell'entrarvi sarà refratto allontanandosi dalla normale; lo stesso gli avverrà entrando nello strato *C'*, e nuovamente quando entrerà nello strato *C''*. Il raggio *P I* aumentando così incessantemente di obliquità, in conseguenza di queste successive refrazioni, giungerà un momento in cui non potrà più passare dal mezzo più refrangente in cui trovasi, in quello meno refrangente al quale si presenta; allora sarà costretto a riflettersi, e giungerà all'osservatore seguendo la direzione *M O*. L'occhio adunque vedrà il punto *P* nella direzione *O x* del raggio riflesso, ed in una posizione presso a poco simmetrica del punto *P* rapporto al piano sul quale ha luogo la riflessione. Lo stesso deve dirsi degli altri punti dell'albero, per cui infine l'oggetto intiero sarà visto rovesciato e per riflessione, precisamente come se si trovasse circondato dall'acqua. È facile intendere dall'ispezione della figura che allorquando l'osservatore trovasi vicino all'oggetto egli non vedrà che l'immagine diretta, perchè i raggi riflessi non giungeranno più all'occhio.

Nella spiegazione che abbiamo data del fenòmeno, la direzione del raggio forma una linea spezzata; ma poichè la densità dell'aria diminuisce a gradi insensibili a misura che ci avviciniamo al suolo, si concepisce che in realtà questa linea spezzata diviene una curva.

Il fenomeno del miraggio può essere in certo modo imitato con un'esperienza di gabinetto. Si empie di carbone acceso una cassa di ferro bislunga, e si sospende all'altezza dell'occhio (*Tav.* VIII, *Fig.* 220), e coll'occhio posto in *p* si guarda

un oggetto qualunque posto ad una certa distanza in *m*. Vedesi allora un'immagine diretta nella direzione *p m* ed un' immagine rovesciata nella direzione *p m'*. Questa seconda immagine analoga a quella del miraggio è evidentemente prodotta dalla riflessione della luce sugli strati d'aria calda che avvicinano le pareti della cassa.

Quando l'aria meno densa è in alto e sovrapposta a degli strati più densi prossimi al suolo, come qualche volta accade sul mare, si vedono in aria le immagini rovesciate degli oggetti (*Tav.* VIII, *Fig.* 221). Qualche volta gli strati di diversa densità sono allo stesso livello e separati da piani verticali, come può accadere sopra un'estensione di suolo rimasta lungo tempo all'ombra accanto ad un'altra estensione di suolo che sia stata lungamente riscaldata dal sole. Allora la refrazione dei raggi fa vedere gli oggetti raddoppiati; le immagini sono situate allo stesso livello degli oggetti e diritte (*Tav.* VIII, *Fig.* 222). Il fenomeno volgarmente conosciuto in Italia col nome di *Fata Morgana* non è altro che un fenomeno di miraggio. Si osserva di sovente sulle coste della Sicilia, dove il popolo accorre in folla ad osservarlo. Veggonsi in aria a grandissime distanze delle campagne, delle case, delle torri ec., le quali non sono altro che immagini di oggetti situati in lontananza sul suolo ed invisibili all'osservatore. Egli è solo in certe circostanze dell'atmosfera che inviando, dei raggi i quali muovonsi in linee curve in strati d'aria d'inegual densità, possono esser riflettuti a gran distanza e resi visibili.

Arcobaleno. Ognuno ha certamente osservato in quali circostanze l'arcobaleno si produce. È necessario che l'osservatore volga il dorso al sole di poco elevato sull'orizzonte, e che abbia dinanzi a sè una nube che piova, la quale sia vivamente illuminata dai raggi solari. È facile assicurarsi che questa condizione è adempita non solo negli arcobaleni prodotti dalla pioggia delle nubi, ma ben anco in quelli assai meno estesi che forma la pioggia delle cascate o degli zampilli d'acqua. Talora si osservano contemporaneamente due arcobaleni: uno, cioè l'interno, i cui colori sono più vivi, e che ha il rosso in alto ed il violetto in basso: l'altro che ha i colori disposti inversamente. È indubitato che il feno-

meno in discorso è un effetto della decomposizione che la luce solare prova nelle gocce d'acqua. Per concepirlo osserviamo prima quale strada percorre un fascio di luce che incontra una massa sferica di acqua, e a quest'uopo potremo servirci di un globo di vetro pieno di acqua, che situeremo al di sopra di noi, ed in faccia al sole. Sia *S I* il fascio di luce supposto (*Tav.* VIII, *Fig.* 223). Alla sua incidenza in *I*, una porzione penetrerà nella goccia, e si refrangerà nel modo ordinario. In *I'* si farà una nuova separazione; una porzione uscirà, ed un'altra si rifletterà e anderà a colpire la goccia in *I''* e così di seguito. La luce refratta in *I''* può incontrare l'occhio dell'osservatore posto in *O*.

Dicesi *deviazione* l'angolo che la direzione d'incidenza di un raggio che subisce una riflessione interna in *b*, fa colla direzione di emergenza. Così, nella figura 223, l'angolo *S t e* è la deviazione del raggio incidente *S I*. Il fascio emergente in *I''* prova una dispersione perfettamente eguale a quella che subisce all'uscire dal prisma; i due raggi estremi sono indicati da *I'' R* ed *I'' V*. L'occhio riceverà nel piano che abbiamo considerato un miscuglio di raggi, dimodochè la sensazione sarà confusa, ed inoltre l'impressione sarà debole a motivo della dilatazione del fascio e della perdita subìta dalla luce nel suo passaggio attraverso la goccia. È dunque necessario affinchè l'occhio abbia una viva sensazione dei varj colori, che ciascuno di essi offra un fascio di raggi non divergenti ma paralleli alla loro emergenza, ossia un fascio di quei raggi che son chiamati *efficaci*.

Sia coll'esperienza, sia col calcolo può determinarsi sotto quali condizioni i raggi efficaci si producono. Se si fanno cadere un certo numero di raggi di luce sopra una massa sferica d'acqua (*Tav.* VIII, *Fig.* 223), e si cerca l'angolo di deviazione che fa il raggio incidente col raggio veduto dall'osservatore, si osserva che è nullo sotto l'incidenza perpendicolare, e che poscia aumenta fino ad un certo limite d'incidenza eguale a circa 59°, 30' pei raggi rossi. Questa deviazione massima è di 42°, 1', 40'' per una sola riflessione interna. Per i raggi violetti l'incidenza è di 58°, 40', 0'', e la deviazione è di 40°, 17'. Per due riflessioni interne l'incidenza è di 71°, 49', 55'', e la devia-

zione di 50°, 58′, 50″ pei raggi rossi, e pei violetti l'incidenza è di 71° e la deviazione è di 54°, 9′. Le incidenze e le deviazioni dei raggi intermedj sono comprese fra questi limiti. Dei raggi poco lontani e paralleli, che cadono sotto quelle incidenze sulla goccia, ne usciranno conservandosi paralleli, benchè la deviazione generale del fascio sia di varj gradi. S' intende adunque come l'occhio posto ad una grande distanza dalla goccia non sia affetto che da questi raggi, poichè dessi, stante il loro parallelismo, conservano la loro intensità, mentre gli altri si sono indeboliti colla dilatazione.

Supponiamo adesso nell'aria un gran numero di gocce o globuli di acqua che rapidamente si succedano nella loro caduta: accadrà precisamente come se ciascuno di essi fosse immobile. Consideriamo prima soltanto i raggi inviati dal centro del sole, che noi possiamo senza errore apprezzabile considerare come paralleli. Sia *O* (*Tav.* VIII, *Fig.* 225) la posizione dell'occhio; se noi conduciamo la linea *O C* parallela ai raggi solari, e la retta *O V* che faccia con *O C* un angolo di 40°, 17′, è evidente che le gocce di acqua che si troveranno in questa direzione manderanno all'occhio dei raggi efficaci violetti, dopo una sola riflessione interna. Conducendo parimente le linee *O R*, *O V′*, *O R′* in guisa che *R O C* sia di 42°, 2′, *R′ O C* di 50°, 59′, *V O C* di 40°, 17′, e *V′ O C* di 54°, 9′, l'occhio riceverà nella direzione di *O R* dei raggi efficaci rossi dopo una sola riflessione interna, nelle direzioni *O R′*, *O V′*, dei raggi rossi e violetti dopo due riflessioni interne, e nelle direzioni comprese tra *V O*, ed *R O*, *V′ O* e *R′ O* i raggi efficaci dei colori intermedj. Perciò se non vi fosse che una serie verticale di gocce d'acqua, l'occhio scorgerebbe due spettri sottilissimi, le cui tinte si succederebbero in senso contrario, e di cui il più alto avrebbe una minore intensità, a motivo della doppia riflessione interna proveniente dai raggi che lo hanno formato. Ma se lo spazio occupato dalle gocce ha un'estensione sufficiente, allora gli spettri saranno assai lunghi ed avranno la forma di strie circolari. Infatti se supponiamo di far girare intorno alla linea *O C*, le linee *O V*, *O R*, *O R′*, *O O′*, facendo sempre colla medesima lo stesso angolo, esse descriveranno tante superficie coniche, e sulle circonferenze delle

basi di questi coni si troveranno un numero grandissimo di gocce di acqua. Perciò quelle gocce che si troveranno sulla circonferenza della base della superficie conica descritta dalla linea *O V* produrranno una stria circolare violetta; quelle che si troveranno sulla base della superficie conica descritta dalla linea *O R* una stria circolare rossa, e così di seguito.

In ciò che precede abbiamo supposto che il sole non fosse che un punto; ma non è realmente così; ogni punto del suo disco invia dei raggi, e conseguentemente lo spettro dell'arcobaleno non è formato di strie ma di fasce della larghezza del diametro apparente del sole. Nel mezzo dell'arco queste fasce si sovrappongono in parte, ond'è che i colori dell'arcobaleno sono quivi assai meno distinti che sui margini.

La parte visibile dell'arcobaleno non è sempre la stessa. Quando il sole è all'orizzonte, l'arco appare sotto la forma di un semicerchio; a misura che il sole s'inalza, l'asse della visione che è al tempo stesso quello dei raggi efficaci, si abbassa in guisa che l'arco diminuisce; infine l'arco interno sparisce, quando il sole è a 42° sopra l'orizzonte, l'arco esterno non cessa di esser visibile se non quando l'altezza del sole è a 54°. È anche facile intendere che un osservatore situato sopra un'eminenza quando il sole è all'orizzonte, può scorgere un intero cerchio.

Oltre il maraggio e l'arcobaleno si osservano altre meteore luminose, che sono state distinte coi nomi di *aloni*, di *corone* e di *parelj*.

Gli aloni e le corone sono dei cerchi colorati che appajono intorno al sole in certe stagioni dell'anno. Il loro margine interno è ordinariamente ben distinto, mentre l'esterno è più incerto e meno colorito. Non differiscono che nella disposizione dei colori. Il parelio consiste in un cerchio bianco orizzontale che passa pel sole, formando una striscia assai vivamente illuminata, la cui altezza è uguale al diametro del sole. Talvolta accompagna gli aloni, penetra nel loro interno e li divide in due parti eguali. Talora si osserva anche una striscia bianca che taglia verticalmente gli aloni formando così col cerchio parelico una croce più o meno distinta nell'interno dello alone e il cui centro è occupato dal sole. Quando il fenomeno

è completo si osservano infine un poco al di fuori dell'alone e sulle braccia della croce delle immagini del sole molto vive e colorate, e se ne scorge una che chiamasi *antelio* o falso sole, perchè trovasi sul cerchio parelico diametralmente opposto al sole.

Si ammette generalmente che tutti questi fenomeni dipendano da giuochi di refrazione e di riflessione della luce solare che si producano nell'alto dell'atmosfera su degli ammassi di piccoli cristalli di ghiaccio ivi formatisi in qualche particolar circostanza. Difatti tali meteore produconsi ordinariamente d'invèrno e specialmente nei paesi settentrionali allorquando l'atmosfera è carica di vapori, e Brewster ha osservato dei cerchi colòrati aventi tutte le proprietà degli aloni guardando il sole o un lume attraverso una lastra di vetro sulla quale aveva fatto cristallizzare un sottile strato di soluzione di allume. Del resto non è anche stata data una completa spiegazione di questi fenómeni in tutti i loro dettagli.

Debbonsi annoverare fra le meteore luminose anche le così dette *stelle cadenti* ed i *bolidi.*

Chiamansi stelle cadenti o filanti certi punti luminosi che muovonsi rapidamente nell'atmosfera e che hanno l'apparenza di stelle che si stacchino dal firmamento, lasciando dietro di sè una traccia luminosa. Secondo molti osservatori sembra che sieno in generale al di là dei limiti della nostra atmosfera, e che la loro distanza da noi giunga spesso fino a più di duecento leghe. Si muovono con estrema velocità la quale giunge talvolta fino a 22 leghe per secondo, e il loro movimento è ordinariamente opposto a quello di traslazione della terra nella sua orbita.

V' ha poche volte che un osservatore prendendo a contemplare soltanto un quarto di cielo, non ne scorga almeno sei ad otto ogni ora: in certe epoche dell'anno poi, e specialmente dall'11 al 13 di Novembre e dal 10 al 12 d'Agosto, il numero delle stelle cadenti è molto più considerevole; ed allora hanno una direzione determinata. Il Brandes in una notte del 6 al 7 di Decembre giunse a contarne 480. Si è supposto che le stelle cadenti sieno dei piccoli corpi celesti dispersi in maggiore abbondanza in certe regioni del cielo, e che divengono a noi

visibili quando la terra pel suo movimento di rotazione intorno al sole si avvicina alle regioni in cui sembrano concentrarsi le orbite di questa sorta di corpi.

I bolidi sono globi luminosi della grandezza della luna piena, che solcano l'atmosfera lasciando dietro di sè una traccia luminosa a guisa di razzi. Spariscono lanciando scintille e producendo un rumor cupo simile al rimbombo di una cannonata. Sono accompagnati da caduta di pietre, che i naturalisti distinguono col nome di *areoliti* o *meteoroliti*, le quali sono composte di silice, ferro, magnesia, nichelio e calce, e sono ricoperte da uno strato di apparenza vetrosa.

Secondo alcuni naturalisti gli areoliti sarebbero pietre lanciate dai vulcani della luna, le quali giunte nella sfera d'attrazione della terra verrebbero attirate dalla medesima e s'infiammerebbero traversando l'atmosfera. Secondo altri sarebbero frammenti di pianeti descriventi orbite che incontrano quella della terra, e che nell'incontro verrebbero a precipitarsi su questa infiammandosi nel traversare l'atmosfera.

Aurora boreale. Si chiama *aurora boreale* un magnifico fenomeno luminoso che appare di frequente nell'atmosfera verso il polo boreale della terra. Poco dopo il tramonto del sole, si annunzia questo fenomeno con una specie di nube cenerognola fornita di un chiarore confuso e simile a quello dell'aurora, la quale serve di base alla meteora. Dopo un certo tempo questa nube vien circondata da un arco splendente di luce bianca o rossa da cui ad intervalli irrompono dei raggi luminosi, che si spandono in tutte le direzioni e si disperdono ad una notabile distanza, comparendo talvolta lo splendore fino allo zenit dell'osservatore. Nella Lapponia ed in tutti i paesi vicini al polo artico il fenomeno è molto frequente e brillante. Si spiega sull'orizzonte, in modo molto imponente coll'apparenza di una grande conflagrazione anche in paesi meno settentrionali, come ha osservato Herschel a Londra. Nei nostri paesi apparisce assai di rado, ed è piuttosto languida. Al polo antartico si gode pure lo spettacolo di un somigliante fenomeno, cosicchè piuttosto che aurora boreale, dovrebbe dirsi *aurora polare*; ma i viaggiatori assicurano che verso il polo sud non è così maestosa come verso quello settentrionale. Il fenomeno

dell'aurora boreale ha un origine elettro-magnetica. Fino dai tempi di Beccaria, i fisici erano stati colpiti dalla grande somiglianza di questo fenomeno luminoso, con quello della luce elettrica nel vuoto. Fu quindi osservato che gli archi luminosi concentrici dell'aurora boreale, riposano tutti su due parti dell'orizzonte equidistanti dal meridiano magnetico, ed i loro punti più elevati si trovano esattamente in questo medesimo meridiano. Infine la vera natura di questo fenomeno ci è meglio dimostrata dall'azione che esso spiega sull'andamento dell'ago magnetico, anche in luoghi lontanissimi da quelli in cui si scorge il fenomeno. L'inclinazione e la declinazione dell'ago magnetico vanno soggette a delle perturbazioni più o meno grandi, un poco avanti e durante l'aurora boreale. De-La-Rive crede che consista in un'eruzione d'elettrico, che dai poli si porti verso le alte regioni dell'atmosfera.

ACUSTICA.

Acustica, ossia del fenomeno del suono. Quella parte della fisica che ha per oggetto lo studio della produzione e delle proprietà del suono dicesi *Acustica.* Noi prenderemo a considerare il fenomeno del suono nei seguenti diversi rapporti: 1.° nel corpo sonoro che lo produce; 2.° nei corpi intermedj o nei mezzi che lo trasmettono; 3.° nell'organo che ne procura la sensazione.

1.° *Del suono considerato nel corpo sonoro.*

Produzione del suono. Il suono è prodotto dalla vibrazione dei corpi elastici. Se noi allontaniamo con un dito dalla loro posizione di equilibrio un filo metallico o una corda di budello perfettamente tesi, ovvero se vi passiamo sopra trasversalmente un arco da violino, sentiremo immediatamente un suono, e

nello stesso tempo vedremo la corda in una rapida vibrazione, che potremo a piacere far cessare stringendo fra le dita la corda. Se questa fosse stata poco tesa, la sua vibrazione si sarebbe fatta in un modo più lento, e tale da poter contare coll'occhio le oscillazioni; ma in questo caso la vibrazione non avrebbe prodotto suono. Aumentando progressivamente la tensione della corda, si giunge ad un punto in cui la velocità delle vibrazioni è capace di dare origine ad un suono. Questo primo suono che dà la corda mentre è sempre poco tesa, dicesi *suono grave*. A mano a mano che la tensione cresce, il suono diviene sempre più *acuto*.

Esperimentando su corde di sostanze diverse, come su fili di lino, di argento, di piombo ec., si osserva che la facilità a produrre un suono dipende sempre dalla diversa forza elastica delle sostanze che le compongono, e dalla diversa rapidità del loro movimento vibratorio.

Anche le lastre sono suscettibili di dare dei suoni allorquando vengon poste in vibrazione. Ciò può dimostrarsi perfettamente con una lastra di acciajo fissa con una sua estremità in una morsa. Se la parte vibrante della lastra è troppo lunga le oscillazioni sono molto lente e non producono alcun suono distinto; ma a misura che si scorcia, le vibrazioni si fanno sempre più rapide ed il suono sempre più acuto. Deve ripetersi per le lastre ciò che abbiamo detto delle corde, cioè a dire che quanto più elastica è la materia che le costituisce, tanto più facilmente producesi il suono. Basta citare dei fatti notissimi per dimostrarlo. Le pareti delle campane sono lastre metalliche di una certa grossezza, le quali son poste in vibrazione dagli urti del battaglio, ed è facile accorgersi dal tremito che si sente accostando ad esse una mano mentre suonano, che la loro vibrazione è la causa del suono che producono. Ora, a tutti è noto che una campana di bronzo produce un suono molto più distinto di una campana di piombo, e questa ne produce uno più distinto di una campana di legno o di argilla; e siffatte differenze da altro non dipendono che dalla diversa elasticità delle materie poste in vibrazione. Rimarchevolissimi sono i movimenti vibratorj che manifestansi sulle lastre o sui dischi di sostanze dure, come il vetro, il rame ec. Per osser-

varli basta fissare questi corpi per mezzo di morse su dei piani fissi, ricuoprirli con della sabbia fine, e farli risuonare strisciando un arco da violino sul loro margine. Tosto vedesi la sabbia saltellare, e dopo pochi colpi d'archetto disporsi sulla superficie della lastra, in modo da dare origine a delle figure regolari e simmetriche. Variando la forma delle lastre, ed i punti di applicazione dell'archetto, si osserva un cangiamento corrispondente nelle figure prodotte dall'agitazione della sabbia. Trovasi questa costantemente scacciata dalle parti della lastra in cui le vibrazioni sono forti, e va ad accumularsi in quelle in cui le vibrazioni sono quasi nulle, o almeno debolissime. Queste ultime parti sono state distinte col nome di *nodi* o *linee nodali*, mentre quelle in cui le vibrazioni sono forti hanno ricevuto il nome di *ventri*. Le linee nodali ed i ventri trovansi anche in una corda che si fa vibrare. Si può dimostrare ponendo a cavalcioni di una corda dei piccoli archetti di carta; tosto che si fa vibrare si vedono cadere tutti quelli che sono situati nei ventri, mentre quelli posti sui nodi non si muovono punto.

L'aria che è di tutti i corpi il più elastico, deve necessariamente possedere anche più degli altri le proprietà sonore; e che l'aria sia eminentemente sonora ci è provato dagl'istrumenti a fiato, nei quali il suono è il resultato delle vibrazioni prodotte nell'aria, in conseguenza del movimento comunicatole.

Rumori e suoni continui. – *I rumori* sono il resultato di un urto istantaneo comunicato all'aria, il quale produce una sensazione breve e confusa. Tale si è il caso dell'esplosione di un'arme a fuoco, dello schioppettare di una frusta, dell'urto di due pietre ec. Dicesi anche rumore una mescolanza confusa di parecchi suoni discordanti, come il rumor del tuono, lo strepito di una vettura sul lastrico ec.

Il suono continuo o suono musicale consiste invece in una serie di vibrazioni che vengono a colpire successivamente, con regolarità e rapidità l'orecchio, e producono una sensazione continua, di una certa durata, la quale può paragonarsi al suono di un qualche istrumento di musica. Per la produ-

zione di un suono musicale esigesi adunque un movimento vibratorio rapido regolare e prolungato per un certo tempo.

Anche con una serie di rumori che si succedono rapidamente e ad intervalli eguali di tempo può ottenersi un suono musicale. Ciò può dimostrarsi per mezzo della ruota di Savart, la quale consiste in una ruota dentata mobile intorno ad un asse perpendicolare al suo piano e che passa pel suo centro, la quale nel suo movimento percuote i suoi denti contro un corpo flessibile, qual sarebbe una carta da visita, fisso dinanzi alla sua periferia. Se si fa girare la ruota con molta lentezza, si sentono distintamente i colpi successivi dei denti contro la carta, ma se si accresce la velocità del movimento rotatorio, s'ode tosto un suono continuo, di cui l'acutezza cresce colla velocità di rotazione.

Gravezza ed acutezza dei suoni. Abbiamo accennato che la differenza fra la gravezza e l'acutezza dei suoni dipende dal numero delle vibrazioni che il corpo sonoro eseguisce in un dato tempo. Più è grande questo numero, e più il suono prodotto è acuto; più è scarso, e più il suono è grave. Del resto queste denominazioni di suoni o *tuoni* gravi ed acuti non sono che relative; difatti non è possibile determinare fin dove si estendono nell'inalzarsi i suoni gravi, e dove cominciano i suoni che debbonsi chiamare *acuti*. Accade sempre che un suono che si riguarda come acuto paragonato ad un suono assai basso, diverrà grave, paragonato ad un suono molto più acuto. I musici a cui è necessario un tuono fisso, sono abituati di prendere per tuono medio fra i gravi e gli acuti, quello che ottengono da un istrumento chiamato *corista*. Consiste questo in una specie di forchetta di acciajo a due rami poco discosti fra loro (*Tav.* VIII, *Fig.* 226), fra i quali si fa rapidamente passare una verga dello stesso metallo, che li allontana e li pone in vibrazione. Il suono di questo istrumento è poco intenso quando si tiene il suo piede colla mano; ma se si posa sopra una tavola o sopra una cassa sonora, acquista molta forza. Il tuono che produce il corista è presso a poco costantemente identico, ed è per questo che i musici si servono di questo istrumento per accordare gli istrumenti a suoni fissi, come per esempio il piano-forte.

Quando si tratti d'istrumenti a corda, il numero delle vibrazioni che produce una corda in un tempo dato, aumenta colla sua tensione e diminuisce coll'aumentare della sua lunghezza e del suo diametro. Dunque quanto più tesa è la corda tanto più acuto sarà il suono, mentre quanto più sarà lenta e quanto più considerevoli saranno la sua lunghezza e la sua grossezza, tanto più grave sarà il suono che produrrà. Ecco l'enunciato esatto dei resultati ai quali si giunge col calcolo, e che esprimono le leggi delle vibrazioni delle corde.

1.° *I numeri delle vibrazioni di una corda sono in ragione inversa della sua lunghezza*, cioè a dire che se una corda sonora fa in un certo tempo un numero di vibrazioni rappresentato da uno, quando vibra in tutta la sua lunghezza, essa farà nello stesso tempo un numero di vibrazioni espresso da 2, 3, 4 ec. se per mezzo di un ponticello mobile, non si fa vibrare che la metà, il terzo, il quarto ec. della sua lunghezza.

2.° *I numeri delle vibrazioni di una corda sono in ragione inversa della sua grossezza o diametro*; cioè a dire che se si hanno due corde della stessa materia, una delle quali abbia un diametro doppio dell'altra, la più sottile farà nello stesso tempo un numero doppio di vibrazioni dell'altra.

3.° *I numeri delle vibrazioni di una corda sono proporzionali alle radici quadrate dei pesi che la distendono*; cioè a dire che se si rappresenta con 1 il numero delle vibrazioni di una corda distesa dal peso 1, questo numero di vibrazioni diverrà nello stesso tempo 2, 3, 4 ec. se si distende la corda con dei pesi rappresentati da 4, 9, 16 ec.

Le indicate leggi trovate per mezzo del calcolo, possono anche verificarsi sperimentalmente. Per giungere a questa verificazione è stato necessario trovare un metodo sperimentale per mezzo del quale determinare il numero assoluto delle vibrazioni che corrispondono a un dato suono. Il migliore di questi metodi è quello che ci è offerto da un istrumento ingegnoso inventato da Cagnard Latour e distinto col nome di *sirena*. Consiste in un tamburo metallico *B A C D*, (*Tav.* VIII, *Fig.* 228) nella parte inferiore del quale può fissarsi un tubo *C D* destinato a soffiare una corrente d'aria nel tamburo. La superficie superiore del tamburo è fornita di uno o più piccoli

orifizj eguali, equidistanti, e disposti sulla circonferenza di un circolo concentrico a quello che limita la superficie del tamburo. Riposa nel suo centro l'estremità inferiore di un asse verticale di acciajo, di cui l'estremità superiore è ricevuta in una cavità praticata nella traversa orizzontale *E F*. Quest'asse, che dev'essere di una mobilità estrema, porta nella sua parte inferiore e fissa nel suo centro una lastra metallica circolare *G H* che ruota coll'asse, e che è fissa ad una distanza estremamente piccola dalla superficie superiore del tamburo. Questo cerchio *G H* è pure forato da un gran numero di orifizj eguali equidistanti e diretti obliquamente nella grossezza della lastra. L'asse di acciajo che porta il circolo *G H* è munito nella sua parte superiore di una vite senza fine, che per mezzo di rocchetti e di ruote dentate comunica il movimento agli aghi dei due quadranti *X* ed *Y*, i gradi dei quali segnano pel primo i giri dell'asse, e pel secondo le centinaja di giri. V'ha un meccanismo che serve a fare ingranare a volontà la vite nella ruota e nel rocchetto. Supponiamo che si metta il cilindro *C D* in comunicazione con una cassa entro cui l'aria sia spinta da un mantice, l'aria uscirà dagli orifizj del tamburo e da quelli del disco mobile, quando si troveranno nella posizione in cui i loro orifizj coincidono. Ma poichè quelli del disco sono obliqui, la corrente d'aria obbligherà il disco a ruotare, e sarà tanto maggiore la rapidità del suo moto quanto più sarà grande la velocità della corrente. Per questa rotazione sarà regolarmente troncata la corrente d'aria che esce dagli orifizj del tamburo, e le intermittenze nello scolo dell'aria saranno le stesse per tutti gli orifizj: l'aria propagherà queste pulsazioni come propaga le vibrazioni di un corpo solido, e l'acutezza del suono che ne resulta dipenderà dalla rapidità con cui si succederanno queste intermittenze, ossia dalla rapidità di rotazione. S'immagini per un momento un sol foro sulla faccia del tamburo, e 10 nel disco mobile: è chiaro che nel tempo che questo farà una rivoluzione il foro del tamburo sarà 10 volte aperto e 10 volte chiuso; 10 volte l'aria uscirà e 10 volte sarà impedito il suo sgorgo. Quest'effetto si produrrà in 1″ o in $\frac{1}{10}$ o in $\frac{1}{100}$ di secondo, a seconda che il disco farà 1, 10, o 100 giri in un secondo, e siccome l'aria che è

spinta con violenza e bruscamente arrestata produce ad ogni alternativa una vibrazione, ne viene che si avranno 10, 100, o 1000 vibrazioni per secondo. Il numoro dei fori della faccia superiore del tamburo $B\ A\ C\ D$ non serve che a variare l'intensità del suono, imperocchè tutti questi fori prudurranno simultaneamente lo stesso effetto. Perciò supponendo che i medesimi sieno in numero di dieci, come nel disco mobile, il suono sarà dieci volte più intenso; ma il numero delle vibrazioni non ne verrà aumentato.

Ecco come con quest'apparecchio si determina il numero delle vibrazioni corrispondenti a un dato suono. Si comincia da regolare la corrente dell'aria; allora si fanno camminare i due indici che danno il numero delle oscillazioni, e nello stesso tempo si conta con un cronometro in mano un certo numero di secondi. Dopo un certo numero di questi, per es. dopo 20, si arresta il movimento, e si sa il numero N delle centinaja di giri che hanno avuto luogo e quello n dei giri minore di 100. Supponendo che il piatto superiore del tamburo abbia 10 fori è chiaro che il numero dei colpi dati all'aria in un secondo sarà espresso da $\frac{10\ (100\ N + n)}{20}$.

Suono degl' istrumenti a vento. Abbiamo già accennato che l'aria è il corpo sonoro per eccellenza. Qualunque colpo un po' forte dato all'aria produce un rumore, come lo scoppiettare di una frusta e l'esplosione di un arme a fuoco. Se i colpi dati all'aria si ripetessero periodicamente e con sufficiente rapidità, se ne avrebbe un suono distinto. È questa l'origine del suono più o meno grave che si ha introducendo una fiammella di gas idrogeno entro un tubo di vetro o di metallo. L' idrogeno nel bruciare nell'aria forma del vapore acquoso, che rapidamente si condensa sulle pareti del tubo, e produce così ad ogn' istante delle rarefazioni che sono pure ad ogn' istante riempite dall'aria che vi si precipita con violenza. Questi successivi movimenti producono il suono descritto, il quale è più o meno grave, secondo le dimensioni della fiamma e del tubo. È specialmente nel suo rapido passaggio attraverso un foro che l'aria si pone a vibrare e produce un suono distinto e valutabile. È in questa guisa che si produce

il fischio che odesi al rientrar dell'aria nella macchina pneumatica. Il suono poi acquista molto maggiore acutezza se l'aria nel penetrare da un orifizio viene a frangersi con forza contro i lembi del medesimo. È in questa guisa che si giunge a trarre dei suoni acutissimi dalla zampogna, ed anco da una chiave, soffiandovi opportunamente dell'aria mediante la bocca. A misura che la corrente è più rapida o che il foro si fa più stretto, l'acutezza del suono aumenta. Se poi la corrente d'aria nel passare attraverso un foro costringe una lamina elastica o un corpo membraniforme a mettersi in vibrazione, il suono è molto rinforzato. Nelle canne da organo il movimento vibratorio della massa d'aria che v'è contenuta è prodotto da una corrente d'aria fornita da un serbatojo, in cui ha una forza elastica superiore a quella dell'atmosfera. Per far vibrare la massa d'aria contenuta nel tubo basta che la corrente dell'aria nel penetrare nel medesimo incontri un orifizio tagliato a sbieco, o come suol dirsi disposto a *imboccatura di flauto*, e così rompendosi contro quello spigolo acuto entra in vibrazione e comunica il suo movimento oscillatorio alla colonna d'aria contenuta nel tubo. La figura 226 rappresenta l' imboccatura di un tubo d'organo; la figura 227 rappresenta quella dello zufolo. In ambedue l'apertura *i* si chiama la *luce*, e per essa s' introduce l'aria nel tubo; *b o* è la *bocca*, il cui *labbro* superiore *b* è tagliato a sbieco. Nella parte superiore delle due figure è rappresentato il tubo, il quale può essere aperto o chiuso. Nella Figura 227 il *piede P* serve a fermare il tubo sopra un mantice.

I corni, le trombe, i flauti sono tutti veri tubi con imboccatura di flauto, e suonano come le canne da organo. Si ripiegano in mille maniere per poter senza incomodo tener lunga la colonna sonora. L'aria che vien spinta dai polmoni forma la corrente; le labbra regolano la sua velocità e cambiano le dimensioni della bocca dell' istrumento, onde ottenere dallo stesso tubo tutta la serie dei suoni che può dare.

Il suono grave od acuto di un istrumento a vento dipende dalla sua lunghezza, dal suo diametro, e dalla forza del soffio che s' impiega per farlo vibrare. Sotto questo rapporto si può assomigliare un istrumento a vento, ad un istrumento a corda.

La lunghezza della colonna d'aria e la sua grossezza corrispondono alla lunghezza ed alla grossezza della corda, e la forza del soffio che eccita le vibrazioni nell' istrumento a vento, corrisponde al grado di tensione della corda. Perciò negl'istrumenti a fiato si rende il tuono più grave o più acuto, sia cambiando la forza del soffio, sia allungando o raccorciando direttamente la canna dell'istrumento, come nel trombone, ovvero producendo lo stesso effetto per mezzo di fori laterali, come ciò accade nel flauto e nel clarinetto, o in fine modificando l'apertura della canna colla mano, come nel corno.

Bernouilli, al quale si deve la teoria delle vibrazioni dell'aria nei tubi, dimostrò che queste si operano differentemente secondo che i tubi sono aperti o chiusi all'estremità opposta alla loro imboccatura. Quando i tubi sono chiusi, e che la loro lunghezza supera 12 o 15 volte il loro diametro, essi danno dei suoni di mano in mano più elevati, a misura che il soffio si rinforza. Durante la vibrazione dell'aria nel tubo, la sua colonna si divide a guisa di una corda in varie parti vibranti distintamente, e separate fra loro da nodi. In ogni caso però v' ha sempre un nodo al fondo del tubo ed un ventre di vibrazione alla sua bocca. Quando v' ha un nodo solo, il tubo dà il suono fondamentale, e la lunghezza della colonna d'aria vibrante è doppia di quella del tubo. Se produconsi due nodi, uno di essi trovasi al fondo del tubo e l'altro ad un terzo, partendo dall'estremità aperta; e quindi la distanza tra due nodi, è $\frac{2}{3}$ della lunghezza del tubo.

Nei tubi aperti, la serie dei suoni prodotti è diversa. Il suono fondamentale di un tubo aperto ai due capi è sempre più acuto del fondamentale che darebbe lo stesso tubo chiuso ad un estremo. Quando un tubo aperto ai due capi dà un suono, si forma un ventre di vibrazione a ciascuna delle due estremità, e nella sua lunghezza si producono uno o più nodi. Se v'è un nodo solo, esso trovasi al mezzo; se ve ne sono due essi trovansi ad un quarto, partendo da ciascuna estremità.

L'esistenza dei nodi si conosce nei tubi aperti o chiusi, perforando le loro pareti nei punti corrispondenti ai medesimi. Allora si osserva che lasciando aperti i fori il suono non è alterato, mentre lo alterano le aperture che fossero fatte

sopra o sotto ai nodi. Può anche dimostrarsi facendo risuonare un tubo rettangolare a pareti sottili disposto orizzontalmente. Allora le pareti entrano in vibrazione insieme alla colonna d'aria interna, e coprendole con sabbia si vede che questa abbandona i luoghi dove sono i ventri e recasi verso i nodi.

Istrumenti a linguetta o ancia. Negl'istrumenti a fiato, detti a linguetta o ancia, i tubi servono più che a produrre a rinforzare il suono. Il vero istrumento sonoro è in questi apparecchi una lingua metallica fissa ad una estremità, applicata sugli orli di un orifizio fatto sulla parete di un tubo. Le armoniche a bocca consistono in tante linguette applicate ad altrettanti fori fatti in una piccola scatola, entro cui si soffia l'aria colla bocca. Ecco come si produce il suono negl'istrumenti a linguetta. Allorchè si soffia nei medesimi, la linguetta è spinta fuori dall'apertura su cui posa, e si allontana da questa fino a tanto che la sua elasticità, che cresce proporzionalmente alla sua flessione, faccia equilibrio alla forza della corrente. Intanto la pressione della corrente va diminuendo, essendosi allargato l'orifizio: la forza elastica diviene perciò capace di ricondurre la linguetta al suo posto. Allora è di nuovo respinta, e così di seguito. Nascono in tal modo dei colpi che si ripetono sull'aria e la fanno vibrare. Il suono della linguetta è molto modificato allorchè questa è aggiustata sopra un tubo. In questo caso l'aria, invece di uscire liberamente, è obbligata a percorrere il tubo, e l'istrumento è composto di due parti che vibrano con leggi diverse. Il suono che se ne ha non è più quello solo che darebbe la linguetta libera nè quello solo che darebbe il tubo separatamente. L'unione del tubo all'ancia rende più grave il suono prodotto da quest'ultima. Oltre le armoniche comuni sono anche istrumenti ad ancia il clarinetto ed il fagotto.

Organo della voce. Un istrumento a fiato che merita specialmente la considerazione del fisico e del naturalista, è l'organo della voce. Ognun sa che è l'aria spinta fuori dai nostri polmoni, che produce i suoni che emettiamo. Il vero organo vocale è la *laringe*, nella quale l'aria che esce dai polmoni è portata per mezzo di un canale distinto col nome di *trachea*.

La laringe comunica colla bocca posteriore per mezzo di una fenditura oblunga detta *glottide*, che si apre dietro la base della lingua. Tale apertura é compresa fra due pieghe muscolo-membranose che ne formano i labbri, e che possono essere più o meno tese o avvicinate l'una all'altra. Lo spazio compreso fra queste pieghe forma una piccola cavità rappresentata in *A B* nella figura 229, e distinta col nome di *ventricolo della laringe*. La più o meno grande contrazione dei ligamenti della glottide ingrandisce o diminuisce l'estensione di quest'apertura, e modifica così i suoni. La laringe può anche essere mossa in totalità dai muscoli che si attaccano alla superficie esterna delle sue pareti, e ai suoi diversi gradi d'elevazione corrispondono diversi gradi d'acutezza dei suoni vocali. La glottide è sormontata da una membrana cartilaginosa detta *epiglottide*, la quale per la propria elasticità sta ordinariamente sollevata al di sopra della glottide, per dar passaggio all'aria nei polmoni, ma si abbassa nel momento della deglutizione degli alimenti, onde impedire la loro introduzione nelle vie aeree, che produrrebbe la soffocazione.

Affinchè si produca la voce nella laringe sono necessarie due condizioni: vale a dire che l'aria contenuta nei polmoni ne sia espulsa colla espirazione, e che i ligamenti della glottide, sotto l'impero della volontà si contraggano convenientemente. Infatti si sa che la voce non producesi ad ogni espirazione, e che quando si tagliano i nervi che vanno ai muscoli della laringe v'è completa mutolezza.

Secondo alcuni fisici l'organo della voce dev'essere paragonato ad un istrumento ad ancia libera, in cui il petto fa le funzioni di mantice, la trachea di portavento, la glottide d'ancia e la bocca di canale per lo scolo dell'aria. Secondo Savart invece il suono si produrrebbe nell'organodell a voce, precisamente come in quel piccolo istrumento detto *richiamo* di cui si servono i cacciatori. Consiste il medesimo in un tamburo metallico di dimensioni piccolissime, le cui facce hanno due fori centrali corrispondenti. Serrando fra le labbra questo tamburo e aspirando l'aria con più o meno forza, si hanno dei suoni diversi. Il suono vi si produce nel modo seguente: la corrente d'aria che traversa i due orifizj spinge

dinanzi a sè una porzione della massa d'aria contenuta nella cavità del tamburo, e così la sua forza elastica è diminuita; allora l'eccesso della pressione atmosferica reagisce per diminuire la velocità della corrente e ritenere nel tamburo una massa d'aria maggiore di quella che v'è contenuta nello stato d'equilibrio, e produce così una compressione alla quale bentosto succede una nuova dilatazione: quindi dalla rapida successione di queste alternative si genera il suono del richiamo. Ora, ecco quale è secondo Savart l'analogia che passa fra questo apparecchio e l'organo vocale: i due orifizi formati dalle labbra della glottide tengon luogo dei due fori del richiamo, e i ventricoli costituiscono il tamburo.

Qualunque sia il modo con cui la voce si produce nella laringe, egli è certo che per l'articolazione della medesima, ossia per la produzione della parola, sono necessarie anche altre parti, quali sono la lingua, i denti e le labbra. L'interno della bocca e le narici agiscono opportunamente per rinforzare e modificare i suoni. Nelle donne e nei fanciulli la laringe ha una minore capacità, e le labbra della glottide sono molto più corte che presso gli uomini adulti; e questa è la ragione per la quale la loro voce è molto più acuta. Cagnard de la Tour ha dedotto dalle sue esperienze su questo soggetto, che i limiti estremi della voce degli uomini sono di 192 a 633 vibrazioni per secondo, e quelli delle donne sono di 576 a 1620.

Muller, considera i labbri della glottide, come due linguette membranose alla cui vibrazione è dovuta la voce. Egli è riuscito a costruire degl'istrumenti che per la loro disposizione sono analoghi alla organizzazione della glottide, e dai quali è riuscito a trarre de'suoni più o meno acuti, mediante il soffio dell'aria. Uno di questi consiste in un tubo assai corto, l'orifizio del quale è ricoperto da due sottili membrane di gomma elastica, che lasciano fra i loro lembi una piccola fessitura. Per farlo risuonare basta abbracciarne il tubo colle labbra e soffiarvi dell'aria.

Percezione e paragone dei suoni musicali. Fra i varj suoni musicali, ve ne sono alcuni che producendosi insieme piacciono all'orecchio, e danno origine a ciò che dicesi *armonia*

o *concordanza.* Ciò dipende dall'accordo delle vibrazioni di due corpi sonori, le quali si fanno in modo che alcune delle vibrazioni di ciascuno colpiscono l'orecchio nello stesso tempo. Così se le vibrazioni di due corde si fanno in tempi eguali, lo stesso suono è prodotto da ambedue; e ciò dà origine all'*unisono.* La concordanza non è limitata all'unisono, giacchè due suoni diversi fanno armonia in varj casi. Se per esempio le vibrazioni di una corda si eseguiscono in un tempo doppio di quello che impiegano le vibrazioni di un'altra corda, la seconda vibrazione di quest'ultima colpirà l'orecchio nel medesimo istante della prima vibrazione della prima. Questa concordanza dicesi *ottava.* Se le vibrazioni delle due corde stanno fra loro come 2 a 3, la seconda vibrazione della prima corda corrisponde alla terza vibrazione della seconda, e produce l'armonia che dicesi *quinta.* Se queste vibrazioni stanno fra loro come 3 a 4, la terza vibrazione della prima corda corrisponde alla quarta dell'altra, e produce l'armonia detta *quarta.*

Possiamo produrre successivamente tutti i toni che può dare una corda per mezzo di un apparecchio semplicissimo detto *sonometro* o *monocordo.* Questo istrumento serve anche a verificare sperimentalmente la legge che abbiamo già annunziata, cioè che prendendo per tono fondamentale quello che è prodotto da una corda di una certa lunghezza, l'acutezza degli altri toni e il numero delle vibrazioni che li produrranno saranno in *ragione inversa della lunghezza delle corde.* Il sonometro (*Tav.* VIII, *Fig.* 230) consiste in una corda *A B* fissa con una delle sue estremità in *A*, e tesa all'altra estremità da un peso *P.* Il ponticello mobile *C*, può scorrere sotto la corda senza toccarla; si ferma dove si vuole, e per ridurre la lunghezza della corda basta premerla col dito sullo spigolo del ponticello. Se si pone il ponticello in mezzo alla corda si osserva che il numero delle vibrazioni fatte da ogni metà di corda in un dato tempo è doppio di quello che fa l'intiera corda; in questo caso il suono dato da ciascuna metà della corda è l'ottava acuta del suono dato dalla corda intera. I tuoni compresi fra il più grave che può dare una corda, e la sua ottava acuta costituiscono ciò che in musica dicesi *gamma* o *solfa.* Questi tuoni sono sette; sono successivamente

più acuti, e vengono espressi dalle sillabe o *note*: *do*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*. Dopo il *si* viene il *do* del gamma successivo, che scrivesi *do* 2. Tutte le note di questo secondo gamma differiscono di un'ottava da quelle del primo gamma. Se ad ogni nota del gamma che ottiensi sul monocordo, si misura la lunghezza della corda che la produce, e si determina il numero corrispondente delle vibrazioni, rappresentando la lunghezza della intiera corda con 1, si otterrà per le lunghezze delle corde, e per le velocità relative delle vibrazioni, le quali sono in ragione inversa di queste lunghezze, i numeri seguenti:

Sette tuoni del gamma.	*do*, *re*, *mi*, *fa* *sol*, *la*, *si*, *do*2.
Lunghezze corrispondenti delle corde.	1, $\frac{8}{9}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$; $\frac{3}{5}$, $\frac{8}{15}$, $\frac{1}{2}$.
Numero delle vibrazioni nello stesso tempo.	1, $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{15}{8}$, 2.

La sirena offre un mezzo semplice per dedurre dalla tavola precedente l'effettivo numero di vibrazioni che produce ciascuna delle note della scala musicale. Infatti ponendola all'unisono col *dò* fondamentale, essa ce ne fa conoscere il preciso numero di vibrazioni; ed allora basta moltiplicare questo numero pei rapporti $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$ ec. della tavola precedente per ottenere i numeri delle vibrazioni delle altre note. Ma poichè il suono fondamentale che si è preso per *do* varia colla lunghezza, colla tensione e colla natura della corda del sonometro, altrettanto dovrà accadere del numero delle vibrazioni che gli corrispondono. Adunque gli effettivi numeri di vibrazione calcolati nel modo esposto potrebbero avere differenti valori, a cui corrisponderebbero altrettante differenti solfe. Fra tutte le solfe che si possono per tal modo rappresentare, fu scelta per termine di paragone quella il cui *do* corrisponde al suono più grave del violoncello, e si fece in fisica la convenzione di contraddistinguere le note di questa solfa coll' indice 1, mentre si danno alle note delle solfe più alte gl' indici 2, 3 ec., ed alle note delle solfe più basse gl' indici — 1, — 2, — 3 ec.; cioè si denotano respettivamente coi simboli *do* — 1, *re* — 1, *do* — 2, *re* — 2 ec. Ciò posto, siccome il numero di vibrazioni corrispondente al

suono piu grave del violoncello è 128, basta moltiplicare questo numero pei rapporti della tavola sopra indicata, per ottenere il numero assoluto di vibrazioni di ciascuna nota; onde resulta la seguente tavola:

Note	*do*,	*re*,	*mi*,	*fa*,	*sol*,	*la*,	*si*.
Numeri assoluti di vibrazioni semplici. .	128,	144,	160,	170,	192,	214,	240.

I numeri assoluti di vibrazioni per le solfe superiori si ottengono moltiplicando successivamente per 2, per 4, per 8 i numeri di questa ultima tavola; e per le solfe inferiori si dividono questi stessi numeri per 2, 4 ec. Così per esempio, il numero delle vibrazioni semplici del *sol* 3 è eguale a 192×4 ossia 768 per minuto secondo.

I musici furono indotti a intercalare tra le note del gamma altre note intermedie che si denominano *diesis* e *bemolli*. Portare una nota *al diesis* significa aumentare il numero delle sue vibrazioni nel rapporto di 24 a 25; ridurla *a bemolle* vuol dire diminuire questo stesso numero nel rapporto di 25 a 24.

Vi sono dei suoni che non possono risuonare insieme, senza produrre discordanza, ma che non di meno se producónsi successivamente procurano quella particolar sensazione che dicesi *melodia*. L'arte della musica consiste specialmente nel saper far succedere con una certa velocità ed un certo ordine le discordanze e gli accordi dei suoni; ma i limiti del nostro Corso non ci permettono d'entrare in alcun dettaglio sulla teoria della musica.

Quando si producono simultaneamente due suoni che non sono all'unisono, odesi ad intervalli eguali un rinforzo del suono che dicesi *battimento*. Se per esempio i numeri delle vibrazioni dei due suoni sono 30 e 31, dopo 30 vibrazioni del primo e 31 del secondo avrà luogo una coincidenza, e quindi un battimento. Se i battimenti si succedono abbastanza rapidamente per produrre un suono continuo, questo suono sarà evidentemente più grave di quelli dai quali deriva, perchè non corrisponde ad esso che una vibrazione sola, mentre gli altri ne compiono 30 e 31.

Nei suoni musicali, oltre il tono, possono distinguersi due particolari qualità, cioè *l'intensità* ed il *timbro o metallo*.

L'intensità del suono dipende dall'ampiezza delle vibrazioni, come può scorgersi passando un archetto da violino sopra una corda, con più o meno rapidità, ovvero allontanandola più o meno con un dito dalla sua posizione di equilibrio; il suono emesso è più o meno pieno benchè il tono non cangi. Il timbro è la qualità particolare che dà ciascun istrumento al suono che produce. È in questa guisa che esiste una differenza molto apprezzabile fra il suono della stessa nota proveniente da un flauto e da un clarinetto. Parimente la voce umana presenta un metallo ben diverso a seconda degl' individui, dell'età e del sesso. Non è ben nota la causa del metallo dei suoni. Pare che questa qualità dipenda non solo dalla materia di cui sono formati gl' istrumenti, ma altresì dalla loro forma e dal modo di vibrazione. Difatti si cangia totalmente il suono di una tromba di ottone incrudito non solo facendola ricuocere in un forno, ma anche cangiandone la forma. Infatti la tromba diritta dà un suono più fragoroso della ricurva.

2.° *Del suono considerato nei corpi intermedj che lo trasmettono.*

Condizioni essenziali perchè il suono possa trasmettersi fino al nostro orecchio. Le vibrazioni dei corpi sonori hanno bisogno per trasmettersi fino al nostro orecchio dell' intermezzo dell'aria o degli altri corpi ponderabili. Se si produce un suono in uno spazio assolutamente vuoto, esso non giunge al nostro orecchio; diviene però sensibile non appena si pone il corpo sonoro in comunicazione col nostro orecchio mediante un corpo ponderabile qualunque, sia gassoso, liquido o solido. Ciò può dimostrarsi colle esperienze che andiamo a descrivere. Sia *A* (*Tav.* VIII, *Fig.* 231) un pallone fornito di robinetto e contenente un campanello *m* sospeso per mezzo di un corpo privo di rigidità, come per mezzo di fili di canapa non torta; se si farà il vuoto nel pallone e quindi si agiterà l'apparecchio in modo da far percuotere il battaglio sulle pareti del campanello, non si distinguerà alcun suono, ma facendo successivamente rientrar l'aria, l'intensità del suono crescerà progressivamente a misura che la densità aumenterà. Per dimostrare che il suono trasmettesi

egualmente attraverso i vapori, si fa uso di un pallone simile al precedente, ma fornito di due robinetti, l'uno situato al di sopra dell'altro come indica la figura 231. Si fa il vuoto nel pallone e coll'agitazione del campanello non si sente alcun suono. Allora apresi il robinetto *a* lasciando chiuso il robinetto *b*, e s' introduce fra loro un liquido volatile, come dell'acqua, dell'alcool o dell'etere; poscia si chiude il robinetto *a* e si apre il robinetto *b*. Il liquido cade nel pallone, si riduce istantaneamente in vapore, e coll'agitazione del pallone si sente un suono distinto. Anche i liquidi trasmettono il suono, giacchè se si percuotono sotto l'acqua dei ciottoli, se ne sente il romore anche ad una grande distanza. Franklin riferisce di avere udito, tenendo la testa sotto l'acqua, il suono prodotto in questo liquido alla distanza di mezzo miglio. I corpi solidi godono anch'essi della stessa proprietà. Per convincersene basta porre l'orecchio ad una estremità di un lungo trave di legno e porre all'altro estremo un orologio da tasca carico; i suoi colpi si faranno tosto sensibili, mentre a quella distanza sarebbe stato impossibile udirli col solo intermezzo dell'aria. È per la maggior facilità colla quale si propaga il suono attraverso i solidi, che il rumor del cannone si trasmette pel suolo a delle distanze in cui l'aria non porterebbe alcun suono apprezzabile.

Modo di propagazione del suono nell'aria. Il suono prodotto dalla vibrazione di un corpo elastico, vien trasmesso fino al nostro orecchio in grazia della vibrazione in cui entra l'aria che circonda il corpo medesimo. Le vibrazioni dell'aria si trasmettono di strato in strato, e ciascuno strato dopo essere stato un momento in vibrazione ritorna subito dopo in quiete. Per istudiare questa trasmissione con maggior semplicità, consideriamo una colonna d'aria di una densità uniforme racchiusa in un cilindro aperto alle sue estremità: supponiamo una lamina elastica situata ad uno dei suoi orifizj, perpendicolarmente al suo asse, e immaginiamo di porre in vibrazione questa lamina. Se l'aria non fosse compressibile, pel suo primo movimento in avanti una porzione della colonna dell'aria uscirebbe all'altra estremità, ma poichè l'aria si lascia comprimere, il movimento non si può trasmettere direttamente che den-

tro uno strato estremamente piccolo di questa colonna. Supponiamo divisa la colonna in strati eguali e tutti lunghi come quello nel quale la compressione si estende direttamente nel tempo infinitamente piccolo del movimento del piano. La meccanica dimostra che quella prima compressione si trasmette successivamente da uno strato all'altro; che ognuno di questi dopo aver compresso il successivo riprende esattamente la sua densità primitiva e ritorna in quiete. Accade qui ciò che abbiamo visto accadere ad una serie di palle d'avorio eguali, poste a contatto e coi loro centri tutti sū di una stessa linea retta, allorchè una delle palle estreme è urtata da una palla simile: l'urto si comunicava di palla in palla senza che ce ne accorgessimo, e vedevamo solo muoversi l'ultima all'altra estremità, come se fosse direttamente percossa. Quando la lamina elastica ritorna indietro, si produce nello strato d'aria contiguo una rarefazione la quale si comunica successivamente agli altri strati della colonna, nel modo stesso delle condensazioni prodotte dal primo movimento della lamina. Ogni escursione della lamina in avanti, produce un'*onda condensata*, infinitamente piccola, ed ogni escursione indietro produce un'*onda* eguale *rarefatta* infinitamente piccola. Questi effetti si ripeteranno per tutto il tempo che dureranno le vibrazioni della lamina. È evidente che ogni onda sarà successivamente condensata e rarefatta. Tutti gli strati della colonna proveranno successivamente questi varj stati. L'*onda sonora* è costituita dall'onda condensata e dalla dilatata prese insieme. L'*ondulazione* poi è l'insieme delle onde condensate e delle dilatate. La *lunghezza di un'ondulazione* è l'estensione delle modificazioni subìte dai varj strati d'aria durante l'escursione del corpo vibrante. Essa è sensibilmente eguale allo spazio che il suono percorre durante l'escursione del corpo vibrante dal quale è prodotto il suono. Se il corpo fa una vibrazione per ogni secondo, l'ondulazione avrà una lunghezza di 340 metri, che è circa lo spazio percorso dal suono in un secondo di tempo. Se la durata della escursione del corpo variasse, la lunghezza della ondulazione varierebbe proporzionalmente.

Dalla teoria del movimento delle onde sonore in un cilindro si passa facilmente a quella del loro movimento in un mezzo

esteso indefinitamente per ogni verso. A questo intento basta applicare ad ogni molecola dei corpi vibranti le considerazioni fatte per una lamina vibrante entro un tubo. È infatti evidente che intorno ad ogni centro di vibrazione si produce una serie di onde sferiche alternativamente condensate e rarefatte. Queste onde essendo concentriche, e i loro raggi andando gradatamente crescendo, ne segue che la massa dell'aria posta in movimento aumenta di mano in mano che le onde si allontanano dal centro di movimento, onde avviene che la velocità impressa alle molecole dell'aria s'indebolisce gradatamente e l'intensità del suono decresce. In questo caso il movimento che concepisce l'aria è simile a quello che concepisce una massa d'acqua la cui superficie sia stata percossa da un sasso. Si vede infatti che il movimento si propaga di strato in strato attorno al corpo urtante, ma la sua velocità va diminuendo coll'aumentare dell'estensione degli strati, sicchè in breve si estingue. Le superficie delle onde sonore concentriche stanno fra loro come i quadrati dei loro raggi, onde avviene che le intensità delle loro vibrazioni staranno fra loro in ragione inversa di questi quadrati, e in conseguenza *l'intensità del suono sarà pure in ragione inversa del quadrato della distanza dal centro del movimento.*

Il suono in un canale cilindrico non può subire alcun indebolimento, perchè lo strato d'aria posto in vibrazione conserva la stessa estensione. Ciò infatti è confermato dall'esperienza. Biot costatò che in un tubo destinato a condurre le acque a Parigi, lungo circa mille metri, la voce perde così poco della sua intensità, che da un capo all'altro del tubo, si può conversare a bassa voce. L'indebolimento del suono però diventa sensibile nei tubi di grande diametro o di pareti tortuose, come avviene nei sotterranei e nelle lunghe gallerie. La proprietà dei tubi di portare a distanza i suoni fu già utilizzata in Inghilterra, ove in molti stabilimenti si servono dei così detti *tubi parlanti* per trasmettere gli ordini. Questi tubi sono di gomma elastica, di piccolo diametro, e passano da un locale all'altro attraversando i muri. Una persona che parli a bassa voce ad uno dei capi è udita assai distintamente all'altro. Dopo le esperienze di Biot è evidente che si potreb-

bero per mezzo di tubi acustici mettere in corrispondenza vocale due città. E siccome il suono percorre 340 metri circa in un secondo, una distanza di 20,000 metri sarebbe percorsa in un minutò.

L'intensità del suono varia anche in ragione diretta della densità dell'aria in cui si produce. In un ambiente di aria rarefatta un dato suono è molto più debole che nell'atmosfera ordinaria; ed invece è assai più forte in un'ambiente in cui l'aria è compressa. Sappiamo difatti che sulla cima di un alto monte, la detonazione di un fucile non produce maggior rumore di un petardo nella pianura, mentre che nella campana del palombaro il più piccolo rumore si fa molto distinto. Sottoponendo al calcolo la propagazione del suono in un'atmosfera composta di strati di differente densità, Poisson ha trovato che a parità di distanza l'intensità del suono dipende dalla densità dell'aria nel luogo in cui esso ha origine; che cioè per una persona situata in un aerostato, l'intensità di un rumore prodotto alla superficie del suolo sarebbe pari a quella che resulterebbe stando sulla terra ad eguale distanza, mentre il rumore prodotto da questa persona sarebbe udito alla superficie del suolo con quella intensità con cui si udirebbe nello stesso strato atmosferico in cui trovasi l'aerostato, da una distanza eguale a quella che esso ha dalla terra. Se il suono producesi in gas differenti dall'aria atmosferica, la sua intensità dipende parimente dalla densità del fluido gassoso in cui si propaga. Così nell'idrogeno un suono è assai più debole che nell'aria, e nell'acido carbonico invece è più forte. L'intensità del suono è pure modificata dall'agitazione dell'aria e dalla direzione de'venti. In tempo quieto i suoni propagansi meglio di quando spira vento, ed in quest'ultimo caso il suono è più intenso, a parità di distanza, nella direzione del vento che non in direzione contraria.

Velocità del suono nell'aria. La velocità del suono è costante. Tutti i suoni percorrono spazj proporzionali ai tempi. Newton sottoponendo all'analisi il modo di trasmissione del suono determinò, che il quadrato della velocità del suono è eguale all'intensità della gravità, moltiplicata pel rapporto dell'elasticità dell'aria e della sua densità. La formola colla

quale Newton esprime la velocità con cui si trasmette il suono è la seguente:

$$V = \sqrt{g\frac{A}{D}}$$

in cui g rappresenta la gravità, A l'altezza o pressione barometrica, D la densità dell'aria presa rispetto al mercurio. L'intensità della gravità alla latitudine di Parigi è di metri 9,809; l'elasticità dell'aria è di 0^m, 76, e la densità di questo fluido a 0°, è di $\frac{1}{10463}$; dal che deducesi 279, ^{m}29 per la velocità del suono in un secondo, alla temperatura di zero. A 10° la velocità sarebbe 282, ^{m}42. Questi resultati sono per altro minori di quelli che dà l'esperienza. Le prime esperienze intorno alla velocità del suono furono fatte in Italia dall'Accademia del Cimento; in seguito furono ripetute altrove, e si ebbero resultati alquanto differenti, che furono poi riconosciuti dipendenti dall'influenza della temperatura. Infine l'Accademia delle Scienze di Parigi, nel 1738, stabilì con ripetute esperienze, che la velocità del suono era di 340 metri per secondo, alla temperatura di 16°. Le esperienze degli accademici francesi furono fatte su due colline situate in vicinanza di Parigi: Montmartre e Monthelery; e gli osservatori situati su Montmartre, notavano esattamente il tempo che scorreva fra l'accensione della polvere e il colpo del cannone che udivano, essendo questo sparato sulla collina di Monthelery. Il tempo che impiega la luce per trasmettersi per lo spazio di qualche lega è tanto breve da potersi affatto trascurare. ottenevano perciò la velocità del suono dividendo la distanza delle due stazioni pel numero dei secondi scorsi fra l'apparizione del lampo e l'arrivo del rumore all'orecchio. Fu Laplace che scuoprì la causa della discrepanza fra il resultato della teoria di Newton e quello dell'esperienza. Egli fece difatto osservare che nelle condensazioni successive che accadono nell'aria nella propagazione del suono si sviluppa del calore, il quale aumentando la forza elastica dell'aria, accresce la velocità del suono. Le esperienze fatte dagli accademici di Parigi stabilirono non solo il valore della velocità del suono, ma determinarono ancora che la velocità del suono è indi-

pendente dall' intensità, dalla qualità e dall'essere più o meno acuto; che è la stessa in tempo sereno o piovoso, e qualunque sia la densità dell'aria, purchè la temperatura non cangi. Quando la temperatura decresce, diminuisce pure la velocità del suono. Così mentre a 16° essa è di 340 metri al secondo, a 10° non è più di 337^m, ed a 0° è ridotta a 333^m. La conoscenza della velocità del suono, fornisce un mezzo di valutare approssimativamente le distanze. Così si potrà calcolare la distanza di una città o di una fortezza assediata, contando il numero dei secondi che scorrono dal momento in cui vedesi il lampo del cannone a quello in cui se ne ode il fragore. Moltiplicando questo numero per 340 si avrà in metri la distanza cercata.

Riflessione del suono. Allorquando le onde sonore che si propagano in un fluido elastico incontrano un ostacolo fisso, come per es. una superficie solida o una superficie di separazione fra questo fluido e un altro di densità diversa, vi è riflessione, cioè le onde sonore si propagano allontanandosi dall'ostacolo in una direzione contraria a quella che hanno le onde che lo incontrano direttamente. Il fatto della riflessione è reso evidente dagli *echi.* L'esperienza prova che l'orecchio non può distinguere la successione di due suoni, se l'intervallo di tempo che li separa non è almeno di $\frac{1}{10}$ di secondo. Perciò se la riflessione di un suono giungerà al nostro orecchio prima che sia trascorso $\frac{1}{10}$ di secondo dalla sua produzione, noi non sentiremo l'eco, ma solamente una risuonanza perchè i due suoni si confonderanno. Abbiamo detto che il suono percorre approssimativamente 340 metri in un minuto secondo, perciò in un decimo di secondo ne percorrerà 34; quindi due suoni successivi non potranno esser distinti se non quando saranno propagati almeno a 34 metri di distanza l'uno dall'altro, senza di che verrebbero a confondersi. Perciò accade che un individuo che produce un suono dirimpetto ad un ostacolo piano capace di rifletterlo, dev'essere almeno situato a 17 metri da questo, onde la distanza tra il suono prodotto e l'arrivo dell'eco al nostro orecchio sia di 34 metri. In un appartamento ristretto non possiamo adunque sentire che delle risuonanze. Alla distanza di soli 17 metri non potranno udirsi

che le sole ultime sillabe delle parole pronunziate, perchè le prime riflesse si confondono colle ultime pronunziate. Perciò per produrre un eco polisillabo bisogna che il suono impieghi un tempo assai lungo per tornare indietro, e quindi che il piano riflessore sia molto lontano. Si sa che articolando presto, si possono pronunziare assai distintamente 8 sillabe in due minuti secondi; ora il suono in due minuti secondi percorre due volte 340 metri; perciò se una superficie riflettente l'eco, sia distante 340 metri da chi pronunzia 8 sillabe, le rimanderà successivamente indietro col loro stesso ordine, e la prima ritornerà dopo due secondi, cioè a dire nel momento in cui sarà pronunziata l'ultima. A tale distanza adunque un eco potrà ripetere da 7 a 8 sillabe. Quando il suono si riflette fra due piani paralleli hanno luogo gli *echi multipli.*

Il suono si riflette ancora sulle superficie curve, facendo a ciascun punto angoli di riflessione eguali a quelli d'incidenza. Quindi è che i suoni che emanano da un corpo sonoro situato al centro di un circolo, si riuniscono dopo la loro riflessione, al medesimo centro, giacchè tutte le linee rette che partono dal centro di un circolo cadono perpendicolarmente sulla circonferenza: le onde sonore saranno dunque riflesse secondo la stessa direzione. Da ciò nasce il rimbombo rimarchevole che si sente ponendosi al centro di una camera circolare. In una ellisse, se il suono producesi ad uno dei suoi fuochi, tutte le onde sonore riflesse dalla circonferenza dell'ellisse medesima si concentreranno all'altro fuoco. Egli è per questa ragione che in una sala a pareti ellittiche, una persona che parlasse a bassa voce ad uno dei fuochi sarebbe benissimo intesa da un'altra che fosse all'altro fuoco, mentre non lo sarebbe da altre persone situate in altri punti della sala medesima. Queste camere ellittiche sono state chiamate *gallerie parlanti.* Se ne osserva una rimarchevolissima di 100 piedi di diametro nella cattedrale di S. Paolo a Londra.

L'effetto di un tubo conico quale si è il *portavoce*, il quale serve molto utilmente a favorire la propagazione del suono in una certa direzione, aumentandone l'intensità, può concepirsi coi principj della riflessione del suono. Resulta dal calcolo che a motivo della forma conica del tubo, le riflessioni

del suono operate dalle sue pareti obbligano le onde sonore a propagarsi nella direzione dell'asse ; quindi al loro uscire dal portavoce, divergeranno assai meno di quello che divergerebbero le onde prodotte da un urto diretto, e quindi esse s'indeboliranno meno coll'allontanamento. Da osservazioni fatte sui portavoce, sembra resultare che quest'istrumenti propaghino il suono tanto più lungi quanto più sono lunghi, e quanto più è considerevole il diametro del padiglione rapporto a quello della imboccatura. Così un uomo che parla in un portavoce della lunghezza di 4 piedi, avente il padiglione di un diametro conveniente, può farsi sentire alla distanza di 2500 piedi; se il portavoce ha 16 piedi di lunghezza, si può sentire alla distanza di 9000 piedi; se è di 24 piedi si sentirà alla distanza di 12,000; o di circa una lega. V'ha non di meno un limite alla lunghezza di quest'istrumento, ed è quando per la troppa lunghezza del tubo le riflessioni delle onde sonore divengono talmente numerose, da nuocere alla distinzione e alla chiarezza del suono. Le trombe militari, i corni da caccia, ed il cornetto acustico, che adoprasi con vantaggio dai sordi, sono costruiti sullo stesso principio. Quest'ultimo consiste in un tubo conico, di cui si applica all'orecchio l'estremità ristretta. Le onde sonore invece di disperdersi sono riflesse dalle sue pareti e riunite nella direzione dell'asse per cui vengono a colpire l'orecchio in grandissima quantità. L'intensità del suono si trova perciò considerevolmente aumentata. Si ottiene un effetto analogo, benchè più debole, ponendo la concavità della mano dietro l'orecchio.

La riflessione del suono si fa colle seguenti leggi :

1.° Ciascun raggio dell'onda sonora fa un angolo di riflessione eguale a quello d'incidenza;

2.° La velocità del suono riflesso è la stessa di quella del suono diretto;

3.° L'intensità del suono rimane la stessa malgrado la riflessione, e non dipende che dallo spazio percorso.

Comunicazione dei movimenti vibratorj da un corpo ad un altro. — 1.° *Comunicazione delle vibrazioni fra i corpi solidi.* I corpi situati fra loro a contatto sono, per così dire, solidarj, per ciò che riguarda le vibrazioni sonore; il primo che è posto

in moto agisce di contiguo in contiguo su tutti gli altri per porli in un movimento che accordi col proprio, o come dicesi in un *movimento armonico*: se tutto l'insieme è leggiero elastico, se vibra bene, il suono prende della forza per queto accordo di tutte le parti, e fa udire un lungo rimbombo; se invece vi sono dei corpi pesanti, difficili a porsi in movimento, non aventi che una debolissima elasticità, come per esempio delle balle di cotone, o dei mucchi di sabbia, il corpo vibrante invece di esser fortificato da questa vicinanza ne è indebolito e come soffocato; il vivo suono che potrebbe produrre può appena avere origine, e si estingue subito. Si deve considerare questo insieme di corpi contigui, presso a poco come un solo corpo composto, di cui una parte non può vibrare isolatamente. Alcune rimarchevoli esperienze faranno intendere come queste vibrazioni si comunichino da un corpo ad un altro, sia negli istrumenti di musica, sia nelle masse sonore in generale. Quando il corista è posto in vibrazione nel modo ordinario, i suoi rami fanno delle vibrazioni trasverse; esse apronsi e chiudonsi 440 volte in 1″; oscillando intorno a due nodi *a* e *b* (*Tav.* VIII, *Fig.* 232), in guisa che l'arco di curvatura s'innalza e si abbassa sollevando così il piede del corista e facendolo saltellare sul corpo su cui riposa. Se questo ha la conveniente elasticità, entra in vibrazione armonica, e ripete e rinforza il suono del corista. Così accade facendolo vibrare su di una tavola o su di una cassa sonora, mentre che se si tiene il piede dell'istrumento tra le dita, il suono non ha alcuna intensità perchè le dita non godono di quella elasticità molecolare che è propria a trasmettere in lontananza i movimenti vibratorj. Una corda tesa fra due punti fissi comunica nella stessa guisa le sue vibrazioni ai suoi sostegni, e questi le comunicano a lor volta alle casse sonore di cui fanno parte. È per questa ragione che le casse sonore dell'arpa, del violino, del pianoforte ec. ripetono i suoni delle corde rinforzandoli, e dando loro un timbro particolare. Tutti gl'istrumenti a corda, riposano su questo principio. Il suono delle corde è naturalmente così debole, che per acquistare un valor musicale ha d'uopo del concorso delle casse sonore. È per gli stessi principj, che il palco scenico dei teatri si

fa con tavole di legno, e si lascia vuoto al di sotto, onde venga a costituire una cassa sonora. Negl' istrumenti a vento non v' ha alcuna comunicazione di movimento vibratorio, giacchè la colonna d'aria è sempre il corpo sonoro principale. Se le vibrazioni del corpo del flauto o del clarinetto dovessero unirsi a quelle della colonna d'aria converrebbe guardarsi bene di dividere quest' istrumenti in diverse parti, per poi riunirle l'una sull'altra, giacchè questo modo di riunione è più adatto a soffocare le vibrazioni che a propagarle. Non di meno certe parti del corno, della tromba e degl' istrumenti metallici in generale, devono essere di un metallo incrudito e sonoro; il che prova che in questo caso la chiarezza e la potenza del suono dipendono almeno in parte dalle vibrazioni dell' istrumento stesso.

2.° *Comunicazione delle vibrazioni per mezzo dell'aria.* Quando l'onda sonora si è formata nell'aria, e che si propaga in lontananza seguendo le leggi che le sono proprie, l'aria reagisce a sua volta su tutti i corpi che incontra per imprimer loro il movimento periodico da cui è animata. Se immaginiamo una sottil membrana animale, tesa nell'aria perpendicolarmente all'onda sonora, è impossibile che questa membrana elastica non partecipi a tutti i movimenti dello strato d'aria che la tocca. Essa è dunque spinta innanzi dall'onda condensata, tirata indietro dall'onda rarefatta; infine essa vibra all'unisono coll'aria stessa. Se invece sulla strada dell'onda, si troverà una corda da violino, il fenomeno sarà diverso. La corda non può dare che certi particolari suoni, perchè non può vibrare che in certe determinate maniere. Se l'onda che la colpisce corrisponde per esempio al suono 1 della corda, essa si mette a vibrare colla maggior facilità; lo stesso dicasi se l'onda corrisponde al suono 2, al suono 3 ec. Ciò è in un modo rimarchevole confermato dall'esperienza. Dei suoni anche lontani agitano in un modo sensibile tutte le corde di un violino quando recano delle onde che si trovano comprese nei loro suoni armonici più semplici; queste corde al contrario sono perfettamente sorde ed immobili pei suoni anche più intensi che non sono in armonia con quelli. Tale si è il principio pel quale le onde aeree fanno vibrare o non fanno vibrare i corpi

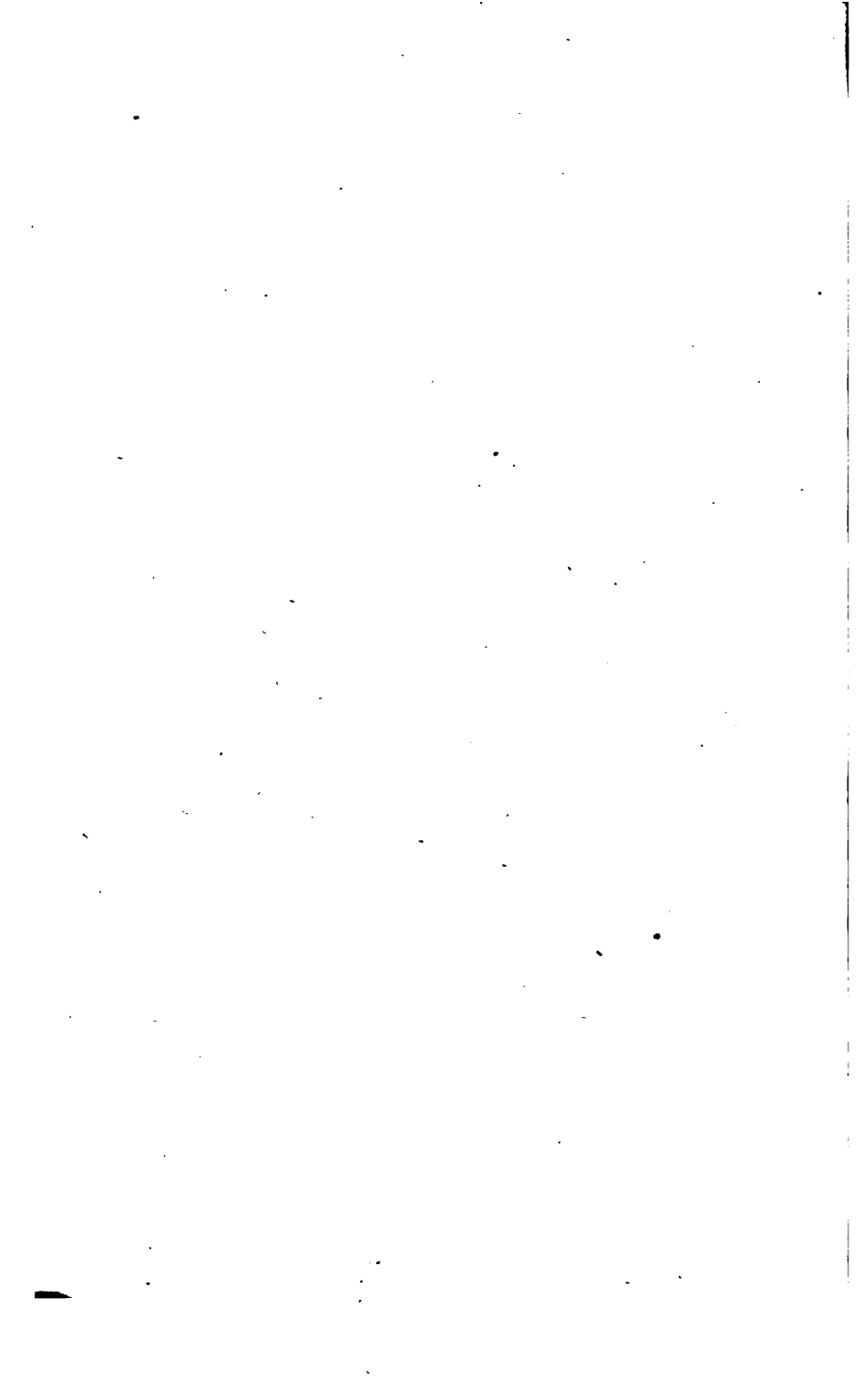
solidi che trovansi sul loro cammino. Non v' ha chiesa che non presenti qualche fenomeno di questa specie. Si osservano delle pietre, delle colonne, delle masse enormi che pongonsi a vibrare sotto l' influenza dei suoni di certe campane, di certe canne d'organo, e che restano immobili per tutti i suoni che non sono a quelli eguali o armonici. Ciò che accade ai corpi solidi avviene parimente alle masse d'aria che sono in qualche modo isolate o in canali o in cavità più o meno spaziose; esse producono talora un rinforzo straordinario di certi suoni. Se si regola la lunghezza di un tubo *c d* (*Tav.* VIII, *Fig.* 233), chiuso ad una estremità, in modo che possa rendere lo stesso suono di una callotta metallica *t*, e che dopo aver messo questa callotta in vibrazione, si avvicina all'apertura del tubo, all' istante quest'ultimo risuona con forza, ed aumenta talmente il suono del timbro da fargli acquistare un' intensità difficile a sopportarsi. Se si dà un'altra lunghezza al tubo *c d*, la colonna d'aria che v' è contenuta non può più vibrare all'unisono col timbro, e il suono non aumenta minimamente di forza. Anche sulla natura dei suoni emessi dall'organo vocale, l'aria contenuta nella gola, nella bocca e nelle fosse nasali ha grande influenza. Ognun sa che se le narici vengono ad otturarsi, in guisa che l'aria non vi possa più passare, o vi passi difficilmente, la voce prende un timbro particolare, che dicesi volgarmente parlare col naso; espressione erronea, giacchè è precisamente in questo caso che non si parla col naso. Difatti basta comprimer le narici colle dita, in modo da chiuderle, per far prender alla voce il timbro di cui si tratta.

3.° *Del suono considerato nell'organo dell'udito.*

Si distinguono tre parti nell'organo dell'udito: l'*orecchio esterno*, l'*orecchio medio*, e l'*orecchio interno*. L'orecchio esterno comprende: 1.° il *padiglione*, che è una conca propria a raccogliere i raggi sonori che la colpiscono; 2.° il *canale auditivo esterno*, il quale forma col padiglione una specie d'imbuto, che è un vero cornetto acustico, e che presenta nel fondo una membrana tesa, come la pelle di un tamburo, e che è chiamata *membrana del timpano*. Le vibrazioni sonore concentrate dallo

orecchio esterno vengono a colpire questa membrana, e la pongono in vibrazione. Essa è dunque evidentemente destinata a propagare i suoni, ma non di meno non è essenziale all'udito, poichè la sua rottura non altera sensibilmente questa facoltà. La membrana del timpano separa l'orecchio esterno, dall'orecchio medio, il quale è costituito dalla così detta *cassa del timpano*. La cassa del timpano è una cassa ossea tappezzata da una membrana umida, e contiene quattro piccoli ossetti conosciuti, a motivo della loro forma, coi nomi di *martello*, *incudine*, *osso lenticolare*, e *staffa*, i quali formano una catena continua, la cui estremità esterna si attacca alla membrana del timpano e l'interna costituita dalla base della staffa, chiude un'apertura ovale detta *finestra ovale*, situata in fondo alla cassa del timpano, la quale fa comunicare questa cavità colla parte interna dell'orecchio, detta *chiocciola*. I quattro piccoli ossicini rammentati sono posti in movimento da dei muscoli particolari. Un altro foro, detto *finestra rotonda*, osservasi in fondo alla cassa del timpano; esso è chiuso da una membrana. La cassa del timpano comunica colla faringe per mezzo di un piccolo canale, chiamato *tromba di Eustachio*, il quale vi permette l'introduzione dell'aria esterna. Infine l'orecchio interno si compone: anteriormente della *chiocciola*, canale osseo avvolto a spira e che si apre nel *vestibulo*, cavità assai grande ripiena di un liquido sieroso, rinchiuso in piccole sacche membranose, è nel quale viene ad espandersi il nervo uditivo; posteriormente di tre canali detti per la loro forma *canali semicircolari*, comunicanti fra loro e col vestibulo. L'insieme di queste tre parti dell'orecchio interno ha ricevuto il nome di *laberinto*. Dalla disposizione delle differenti parti dell'organo dell'udito si deve concepire che le onde sonore percuotendo immediatamente la membrana del timpano sono trasmesse per l'aria della cassa del timpano e per la catena degli ossetti alle pareti del laberinto, e di là coll'intermezzo del liquido al nervo acustico. L'esistenza di tutte queste parti non è però una condizione essenziale onde possa aver luogo l'udito. Difatti l'esperienza c'insegna che la membrana del timpano può esser rotta, e i primi tre ossetti possono esser distaccati, senza che perciò cessi la facoltà di udire; purchè

la membrana che chiude la finestra rotonda sussista, e la staffa rimanga applicata contro la finestra ovale. Ma se cade la staffa, e se la membrana che chiude il laberinto si rompe in modo da lasciare scolare il liquido che contiene, la sordità si manifesta sempre. Dunque l'esistenza del nervo acustico e la sua espansione in un liquido per mezzo del quale riceve le vibrazioni sonore, sono due condizioni essenziali all'udito. Sembra ancora che sia necessaria alla perfezione di questo senso la libera comunicazione dell'aria contenuta nella cassa del timpano coll'aria esterna. Infatti senza questa comunicazione l'aria di questa cavità sarebbe ben tosto assorbita e sparirebbe, e le vibrazioni del timpano non potrebbero trasmettersi all'orecchio interno se non mediante le pareti ossee della cassa e difficilmente vi giungerebbero. Ciò ne mostra l'ufficio della tromba di Eustachio, e ci spiega come l'ostruzione di questo canale può divenir causa di sordità. Bisogna ammettere che la grande complicanza del nostro organo uditivo, serva ad accrescerne la sensibilità ed a farci scuoprire nei suoni delle qualità, che resteranno sempre ignote agli animali ad organo più imperfetto.

FINE.

INDICE

DELLE

MATERIE CONTENUTE IN QUESTO VOLUME

4.° Della Luce.

Acustica.

7.

13.

14.

17.

15.

16.

18.

22.

23.

24.

Lit. Toscana a Firenze

Lit. Toscana a Firenze.

Lit. Toscana a Firenze

109.
110
116.
m
n
n'
C
m'
D
d
c
v
b
a
b'
r

P
S
O
b
a
137
S
T
146
F
K
F
K
143
e
a
c

Lit. Toscana a Firenze

Tav. VII.

Lit. Tinarossa Faenza

Tav. VIII.
B
x
P
S
214.
P'
S'
S'
P'
217.
222.
m
m'
V'
225.
R
R
V
O
C
S
L
t
I'
C
I''
223.
V
O
R
e
a
231.
b
A
m
226.
bis.
232.
a
b
c
p
Lit. Toscani in Firenze